

## Kuat Lentur Beton Ramah Lingkungan dengan Penggunaan Limbah Serbuk Aren Sebagai Substitusi Agregat Halus

### *Flexural Strength of Green Concrete by Using Sugar Palm Powder Waste as a Substitute for Fine Aggregate*

Guntur Nugroho\*

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,  
Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

\*Email: guntur.nugroho@umy.ac.id

#### Abstrak

Pembangunan pada bidang konstruksi telah banyak mengalami perkembangan serta inovasi dalam segala aspek termasuk dalam pembuatan beton dengan menggunakan material limbah. Tujuan penelitian ini adalah untuk memanfaatkan penggunaan Limbah Serbuk Aren (LSA) untuk bahan campuran beton agar dapat mengurangi dan membatasi pencemaran lingkungan dari limbah padat sisa hasil industri. Pemanfaatan Limbah Serbuk Aren (LSA) dilakukan dengan cara mensubstitusikan limbah terhadap agregat halus untuk mendapatkan hasil kuat lentur beton dengan variasi 0 persen, 10 persen, 20 persen, 30 persen, dan 40 persen. Metode yang digunakan adalah pengujian eksperimen di laboratorium dengan benda uji berukuran 15x15x60cm dengan jumlah 3 benda uji pada setiap variasi campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat lentur 0 persen, 10 persen, 20 persen, 30 persen, dan 40 persen sebesar 4,12 MPa, 4,09 MPa, 3,60 MPa, 3,44 MPa dan 3,11 MPa. Berdasarkan analisis kuat lentur beton pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kadar campuran Limbah Serbuk Aren (LSA) sebesar 10 persen, 20 persen, 30 persen, dan 40 persen dapat menurunkan nilai kuat lentur 0,73 persen, 12,63 persen, 16,5 persen, 24,52 persen.

**Kata Kunci:** Agregat Halus; Kuat Lentur Beton; Limbah Serbuk Aren (LSA)

#### Abstract

Development in the construction sector has experienced many developments and innovations in all aspects, including making concrete using waste materials. The aim of this research is to utilize Palm Powder Waste (LSA) as a concrete mixture in order to reduce and limit environmental pollution from industrial solid waste. Utilization of Sugar Palm Powder Waste (PPW) is carried out by substituting waste for fine aggregate to obtain concrete flexural strength results with variations of 0 percent, 10 percent, 20 percent, 30 percent, and 40 percent. The method used is experimental testing in the laboratory with test objects measuring 15x15x60cm with a total of 3 test objects for each mixture variation. The research results show that the flexural strength values of 0 percent, 10 percent, 20 percent, 30 percent, dan 40 percent are 4.12 MPa, 4.09 MPa, 3.60 MPa, 3.44 MPa and 3.11 MPa. Based on the analysis of the flexural strength of concrete in this research, it can be concluded that the concentration of Palm Powder Waste (PPW) mixture of 10 percent, 20 percent, 30 percent, and 40 percent can reduce the flexural strength value by 0.73 percent, 12.63 percent, 16.5 percent, and 24.52 percent.

**Keywords:** Fine Aggregate; Flexural Strength; Palm Powder Waste (PPW)

---

#### PENDAHULUAN

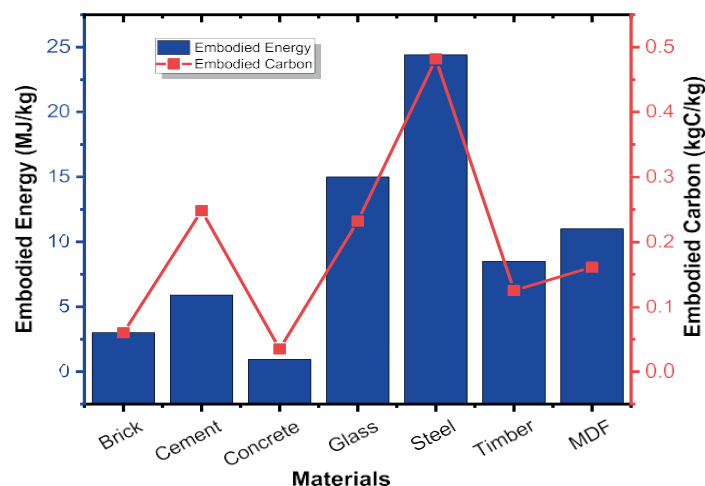
Jembatan, perumahan yang layak, sistem transportasi, dan proyek teknik sipil

lainnya sangat penting untuk pembangunan negara secara keseluruhan [1]. Di masa lalu, beton sangat penting bagi pengembangan infrastruktur dan diakui secara luas sebagai

bahan bangunan terpenting di dunia [2]. Meskipun demikian, 60% bahan baku yang digunakan dalam proyek bangunan dan infrastruktur berasal dari kerak bumi, menjadikan sektor bahan konstruksi sebagai konsumen sumber daya alam yang signifikan [3–4]. Selain itu, produksi beton adalah kontributor utama industri ini, yang menempati peringkat sebagai sumber emisi CO<sub>2</sub> terbesar ketiga, terhitung 5–10% dari emisi global [5–6]. Oleh karena itu, bahan bangunan yang berkelanjutan sangat penting.

Pembuatan material beton lebih ramah lingkungan dalam hal energi yang dikonsumsi, dan emisi karbon per volume dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya seperti material baja [7] yang ditunjukkan pada Gambar 1. Akan tetapi, konsumsi volume beton yang tinggi dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya telah menghilangkan keunggulan berkelanjutan ini. Produksi semen portland

biasa (OPC) yang merupakan bahan pengikat utama dalam beton menyumbang sekitar 8% emisi karbon antropogenik dunia dan menggunakan sekitar 3% energi dunia [8]. Selain itu, industri beton merupakan konsumen agregat alami dan air tawar tertinggi [9–10]. Produksi beton yang lebih tinggi untuk penggunaan di masa depan akan menyebabkan penipisan sumber daya alam yang signifikan dan pencemaran lingkungan [11–12]. Oleh karena itu, kebutuhan akan beton ramah lingkungan sangat penting untuk memenuhi kebutuhan beton di masa depan sekaligus melestarikan sumber daya alam. Beton ramah lingkungan dapat diklasifikasikan sebagai beton yang memiliki energi yang terkandung dan emisi karbon yang lebih sedikit dibandingkan dengan beton OPC konvensional. Selain itu, beton hijau pada dasarnya menggabungkan berbagai bahan limbah sebagai pengikat serta penggunaan material lain sebagai substitusi agregat.



**Gambar 1.** Energi yang Terkandung dan Emisi Karbon Untuk Bahan Bangunan [7]

Beberapa bahan limbah padat telah dihasilkan oleh beberapa industri, dan sebagian besar limbah tersebut disimpan di tempat pembuangan sampah atau di ruang terbuka yang mengakibatkan pencemaran lingkungan. Di sisi lain, produksi beton mengkonsumsi agregat dalam jumlah besar setiap tahunnya, dan penambangan sumber

agregat alami mungkin tidak mampu memenuhi perkembangan permintaan beton. Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan bahan alternatif lain untuk melengkapi pasokan sumber alami. Pemanfaatan berbagai limbah padat sebagai agregat dalam produksi beton akan menghasilkan beton ramah lingkungan

karena mengurangi kegiatan penambangan untuk memenuhi kebutuhan agregat alami. Selain itu, penggunaan limbah padat sebagai agregat dalam beton akan membantu melestarikan sumber alami agregat, mengelola limbah, dan mengurangi keseluruhan energi dan emisi karbon yang terkandung dalam beton.

Para peneliti sedang mencari cara untuk menggunakan bahan limbah untuk membuat beton karena kinerjanya sangat tinggi dan permintaan yang terus meningkat [13–15]. Abu limbah pertanian, abu jerami tebu, abu sekam padi, abu kulit telur, abu bahan bakar minyak sawit, dan abu kulit kacang tanah semuanya telah dipelajari sebagai pengganti semen parsial dan telah ditemukan sebagai puzzolana yang dapat meningkatkan kualitas beton [16].

Beberapa limbah padat lainnya telah digunakan sebagai agregat dalam beton. Beberapa limbah tersebut adalah plastik [17], limbah konstruksi dan pembongkaran [18], kaca [19], limbah pertanian [20], limbah peternakan [21], dan keramik [22]. Namun pengaruh yang dihasilkan dari setiap jenis limbah yang digunakan sebagai agregat berbeda-beda satu sama lain tergantung pada tingkat penggantian dan sifat fisik agregat. Misalnya, penggunaan kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam kisaran 7,5 – 25% terbukti meningkatkan ketahanan beku dan mencair serta kerak permukaan beton [23]. Penggunaan kaca sebagai agregat pada tingkat yang lebih tinggi telah dilaporkan menghasilkan penurunan kemerosotan dan penurunan sifat

mekanik [24].

Pengembangan beton ramah lingkungan dapat dilihat sebagai teknologi yang hemat energi [25–26], dan merupakan teknologi dengan dampak lingkungan yang lebih kecil. Penggunaan limbah polietilen dan polipropilen telah diselidiki untuk digunakan dalam bidang komposisi beton ramah lingkungan dalam beberapa tahun terakhir. Polietilen banyak digunakan sebagai agregat sedangkan polipropilena lebih berfungsi sebagai penguat serat pada beton. Menurut laporan Zéhil dkk. [27] penggunaan polietilen berpengaruh terhadap kemampuan kerja dan permeabilitas udara beton. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kandungan polietilen dapat mengakibatkan penurunan kekuatan dan penyusutan beton. Penelitian serupa lainnya juga melaporkan kesesuaian pengaruh penggunaan polietilen dan polipropilen pada beton [28–30].

Pembuatan beton ramah lingkungan sangat diharapkan menjadi solusi untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan seperti pada. Pembuatan tepung pati dapa proses diekstraksi pohon aren di Jawa Tengah, khususnya di Dusun Bendo, Kecamatan Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten banyak menghasilkan limbah padat dan cair. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1 dan Gambar 2, terdapat kurang lebih 240 unit industri yang mengolah tepung aren setiap harinya, menghasilkan 50 ton tepung aren dengan 17,5 ton limbah padat.



**Gambar 2.** Proses Pembuatan Tepung Pati Onggok Dari Pohon Aren

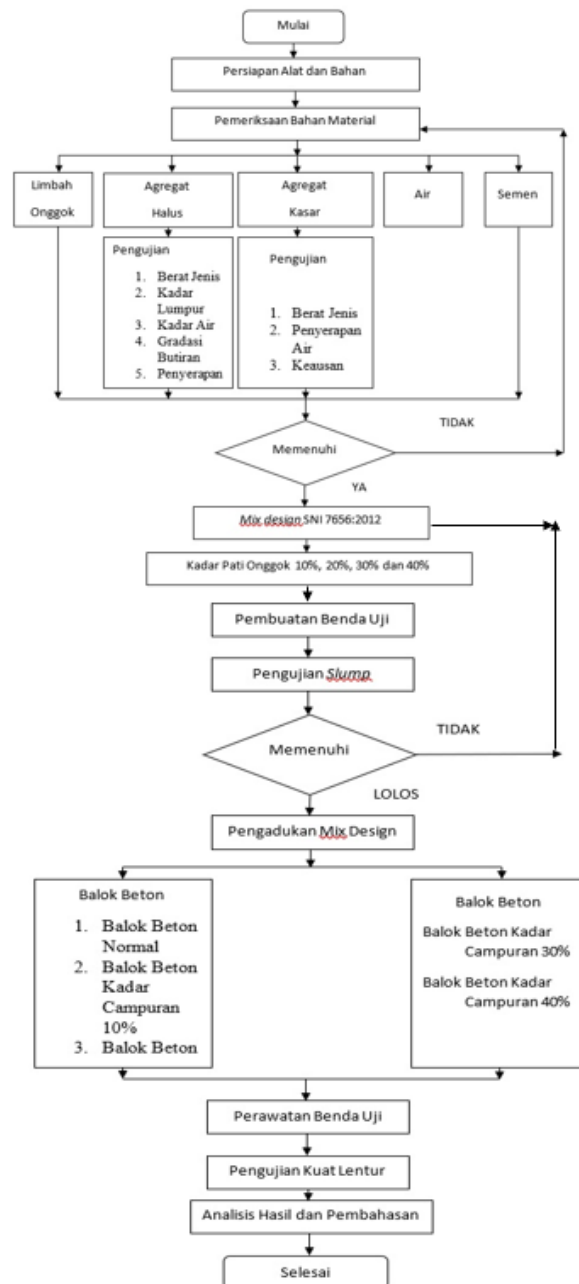


**Gambar 3.** Pembuangan Limbah Padat yang Mencecari Lingkungan

Berdasarkan uraian di atas, Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat industri pembuatan tepung pati. Menguji kuat lentur pada beton dengan menggunakan campuran serbuk limbah aren (SLA) sebagai pengganti sebagian agregat halus.

## **METODE PENELITIAN**

Tahapan penelitian yang dilakukan secara garis besar meliputi persiapan bahan, pengujian bahan, perencanaan campuran beton, pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian benda uji seperti pada bagan alir Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Agregat Kasar

#### *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar diperoleh untuk nilai rata-rata berat jenis curah (*bulk specific gravity*) sebesar 2.619, untuk berat jenis jenuh kering muka

(*saturated surface dry*) sebesar 2,640 dan untuk nilai berat jenis tampak (*apparent specific gravity*) sebesar 2,67. Hasil untuk pengujian penyerapan air agregat kasar diperoleh nilai rata-rata sebesar 0,8%.

#### *Pengujian Keausan Agregat Kasar*

Hasil pengujian keausan agregat kasar diperoleh nilai rata-rata sebesar 21,033%. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat kasar

yang diuji memiliki nilai keausan yang baik karena nilai keausan diperoleh  $< 40\%$ .

### Pengujian Agregat Halus

#### *Pengujian Gradasi Butiran*

Hasil dari pengujian gradasi butiran diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebesar 2,100. Hasil ini menunjukkan spesifikasi telah sesuai dengan yang disyaratkan sebesar 1,5-3,8.

#### *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*

Hasil pengujian berat jenis diperoleh nilai rata-rata berat jenis curah (*bulk specific gravity*) 1,58 dan berat jenis jenuh kering muka (*saturated surface dry*) 2,04 dan untuk berat jenis tampak (*apparent specific gravity*) 2,95. Hasil dari pengujian

penyerapan air didapat nilai rata-rata sebesar 29,34%.

#### *Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus*

Hasil dari pengujian kadar lumpur agregat halus diperoleh nilai kadar lumpur rata-rata yang terdapat pada agregat halus sebesar 1%. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar lumpur yang ada pada agregat halus berada dibawah ketentuan maksimal kandungan lumpur yang diperbolehkan yaitu sebesar 5% pada SNI S-04-1989 dan agregat halus masuk dalam keadaan bersih.

#### *Pengujian Slump Beton*

Pengujian slump pada penelitian ini dilakukan seperti pada Gambar 5, Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.



Gambar 5. Denah Kolom

Tabel 1. Rekapitulasi Besi Kolom yang Tersedia

No	Variasi Campuran (%)	Nilai Slump (cm)
1	0%	10
2	10%	10
3	20%	9
4	30%	7
5	40%	6

Dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1 di atas, dapat diketahui bahwa semakin

tinggi variasi campuran maka akan semakin menurunkan nilai slump. Hal ini disebabkan karena sifat dari limbah pati onggok yang meningkatkan koefisien gesekan antar material pada beton segar.

### Pengujian Kuat Lentur

Dari pengujian kuat lentur balok beton

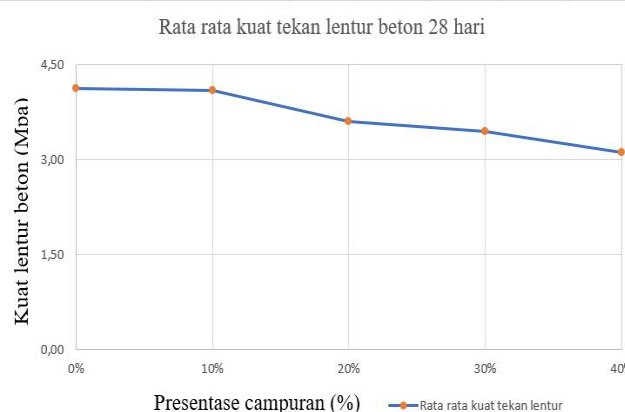
dengan variasi campuran normal, 10%, 20%, 30% dan 40% dengan umur beton 28 hari dengan nilai rata-rata berturut sesuai campuran adalah 4,12 MPa, 4,09MPa, 3,60MPa, 3,44MPa dan 3,11MPa. Hasil pengujian kuat lentur umur beton 28 hari dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Lentur Beton

Kode Benda Uji	Dimensi			Beban Maksimum (N)	Kuat Lentur Beton	Kuat Lentur Beton Rerata
	B	H	L			
BN 01	150	150	600	27849,53	4,12	4,12
BN 02	150	150	600	28197,87	4,20	
BN 03	150	150	600	26574,53	4,04	
BC101	150	150	600	24785,62	3,74	4,09
BC102	150	153	600	28254,75	4,18	
BC103	150	150	600	29418,55	4,36	
BC201	150	150	600	26092,70	3,99	3,60
BC202	150	150	600	21746,43	3,31	
BC203	150	151	600	23295,65	3,50	
BC301	150	150	600	23392,05	3,53	3,44
BC302	150	150	600	24303,81	3,74	
BC303	150	150	600	19858,59	3,04	
BC401	150	150	600	22564,24	3,43	3,11
BC402	150	150	600	17363,00	2,62	
BC403	150	150	600	21484,49	3,29	

Berdasarkan Tabel 3, beton yang menggunakan variasi campuran limbah serbuk pati onggok mengalami penurunan kuat tekan yang dilihat pada nilai kuat tekan beton normal menunjukkan angka rata-rata 4,12 MPa serta pada variasi campuran beton 10% 20% 30% dan 40% menunjukkan angka penurunan rata-rata yaitu 0,56 MPa yang

dikarenakan semakin banyak dan tingginya kadar pati onggok yang digunakan dengan nilai kuat lentur sebesar 4,09 MPa, 3,60 MPa, 3,44 MPa dan 3,1 MPa yang bisa dilihat pada Gambar 6. Pola retak dan kerusakan yang terjadi pada benda uji menunjukkan kerusakan lentur murni seperti terlihat pada Gambar 7 sampai Gambar 1

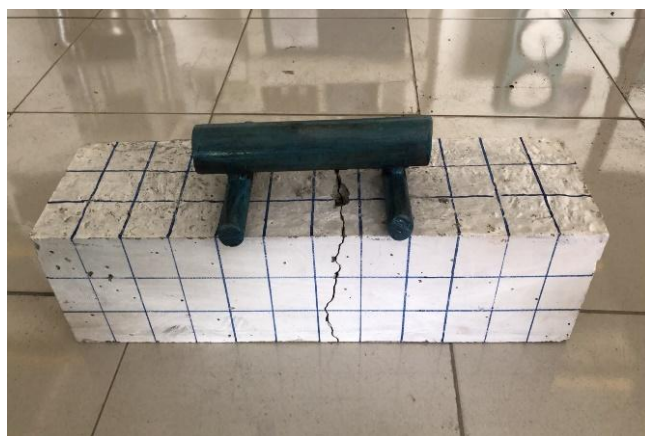


**Gambar 6.** Hubungan Kuat Lentur Balok Dengan Presantase Campuran





**Gambar 7.** Balok Beton Normal



**Gambar 8.** Balok Beton 10%



**Gambar 9.** Balok Beton 20%





Gambar 10. Balok Beton 30%



Gambar 10. Balok Beton 40%

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengujian kuat lentur beton dengan penambahan Limbah Serbuk Aren (LSA) sebagai pengganti agregat halus dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil pengujian kuat lentur beton diperoleh nilai kuat lentur rata-rata  $f_c'$  35 MPa pada variasi campuran 0% sebesar 4,12 MPa, variasi campuran 10% sebesar 4,09 MPa, variasi campuran 20% sebesar 3,60 MPa dan variasi campuran 30% dan 40% sebesar 3,44MPa dan 3,11 MPa. Berdasarkan analisis kuat lentur beton pada penelitian ini dapat simpulkan bahwa kadar campuran Limbah Serbuk Aren (LSA) sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dapat menurunkan nilai kuat lentur 0,73%, 12,63%, 16,5%, 24,52%. Berdasarkan analisis uji kuat lentur beton dapat dikatakan bahwa penggunaan limbah sari pati onggok sebagai pengganti agregat halus dapat digunakan pada campuran beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. V Prasad, V. Vasugi, R. Venkatesan, and N. S. Bhat, "Critical causes of time overrun in Indian construction projects and mitigation measures," *Int. J. Constr. Educ. Res.*, vol. 15, no. 3, pp. 216–238, 2019.
- [2] A. S. Gill and R. Siddique, "Durability properties of self-compacting concrete incorporating metakaolin and rice husk ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 176, pp. 323–332, 2018.
- [3] H. Nouri, M. Safehian, and S. M. Mir Mohammad Hosseini, "Life cycle assessment of earthen materials for low-cost housing a comparison between rammed earth and fired clay bricks," *Int. J. Build. Pathol. Adapt.*, vol. 41, no. 2, pp. 364–377, 2023.
- [4] A. C. P. Martins *et al.*, "Steel slags in cement-based composites: An ultimate review on characterization,

- applications and performance,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 291, p. 123265, 2021.
- [5] G. U. Fayomi, S. E. Mini, O. S. I. Fayomi, and A. A. Ayoola, “Perspectives on environmental CO<sub>2</sub> emission and energy factor in Cement Industry,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 331, no. 1, p. 12035.
- [6] A. Pakdel, H. Ayatollahi, and S. Sattary, “Embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions of life cycle assessment (LCA) in the traditional and contemporary Iranian construction systems,” *J. Build. Eng.*, vol. 39, p. 102310, 2021.
- [7] B. V. V. Reddy and K. S. Jagadish, “Embodied energy of common and alternative building materials and technologies,” *Energy Build.*, vol. 35, no. 2, pp. 129–137, 2003.
- [8] J. S. Damtoft, J. Lukasik, D. Herfort, D. Sorrentino, and E. M. Gartner, “Sustainable development and climate change initiatives,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 38, no. 2, pp. 115–127, 2008.
- [9] S. Karthik, P. R. M. Rao, P. O. Awoyera, R. Gobinath, and R. R. Karri, “Alkalinity and strength properties of concrete containing macro silica and ground granulated blast furnace slag,” in *7th Brunei International Conference on Engineering and Technology 2018 (BICET 2018)*, 2018, p. 106.
- [10] P. Murthi, P. Awoyera, P. Selvaraj, D. Dharsana, and R. Gobinath, “Using silica mineral waste as aggregate in a green high strength concrete: workability, strength, failure mode, and morphology assessment,” *Aust. J. Civ. Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 122–128, 2018.
- [11] V. Karthika, P. O. Awoyera, I. I. Akinwumi, R. Gobinath, R. Gunasekaran, and N. Lokesh, “Structural properties of lightweight self-compacting concrete made with pumice stone and mineral admixtures,” *Rev. Rom. Mater.*, vol. 48, no. 2, pp. 208–213, 2018.
- [12] S. Anandaraj, J. Rooby, P. O. Awoyera, and R. Gobinath, “Structural distress in glass fibre-reinforced concrete under loading and exposure to aggressive environments,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 197, pp. 862–870, 2019.
- [13] G. P. Hammond and C. I. Jones, “Embodied energy and carbon in construction materials,” *Proc. Inst. Civ. Eng.*, vol. 161, no. 2, pp. 87–98, 2008.
- [14] N. Makul, “Combined use of untreated-waste rice husk ash and foundry sand waste in high-performance self-consolidating concrete,” *Results Mater.*, vol. 1, p. 100014, 2019.
- [15] A. Adesina and P. Awoyera, “Overview of trends in the application of waste materials in self-compacting concrete production,” *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 9, p. 962, 2019.
- [16] L. Giresini, C. Casapulla, and P. Croce, “Environmental and economic impact of retrofitting techniques to prevent out-of-plane failure modes of unreinforced masonry buildings,” *Sustainability*, vol. 13, no. 20, p. 11383, 2021.
- [17] J. P. Moretti, S. Nunes, and A. Sales, “Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 172, pp. 635–649, 2018.
- [18] H. J. Araghi, I. M. Nikbin, S. R. Reskati, E. Rahmani, and H. Allahyari, “An experimental investigation on the erosion resistance of concrete containing various PET particles percentages against sulfuric acid attack,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 77,

- pp. 461–471, 2015.
- [19] A. Rao, K. N. Jha, and S. Misra, “Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 50, no. 1, pp. 71–81, 2007.
  - [20] A. A. Aliabdo, M. Abd Elmoaty, and A. Y. Aboshama, “Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 124, pp. 866–877, 2016.
  - [21] E. A. Olanipekun, K. O. Olusola, and O. Ata, “A comparative study of concrete properties using coconut shell and palm kernel shell as coarse aggregates,” *Build. Environ.*, vol. 41, no. 3, pp. 297–301, 2006.
  - [22] A. Sivakrishna, P. Awoyera, S. Oshin, D. Suji, and R. Gobinath, “Fabrication of precast concrete slab panels incorporating foundry sand and blast furnace slag as a potential wall insulator,” *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 4, pp. 2386–2398, 2019.
  - [23] P. Awoyera, R. Gobinath, S. Haripriya, and P. Kulandaisami, “New light weight mortar for structural application: assessment of porosity, strength and morphology properties,” in *International Conference on Emerging Trends in Engineering (ICETE) Emerging Trends in Smart Modelling Systems and Design*, 2020, pp. 59–65.
  - [24] Z. Z. Ismail and E. A. Al-Hashmi, “Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete,” *Waste Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 655–659, 2009.
  - [25] M. S. Imbabi, C. Carrigan, and S. McKenna, “Trends and developments in green cement and concrete technology,” *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 1, no. 2, pp. 194–216, 2012.
  - [26] V. Radonjanin, M. Malešev, S. Marinković, and A. E. S. Al Maly, “Green recycled aggregate concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1503–1511, 2013.
  - [27] G.-P. Zehil and J. J. Assaad, “Feasibility of concrete mixtures containing cross-linked polyethylene waste materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 226, pp. 1–10, 2019.
  - [28] D. Rumšys, D. Bačinskis, E. Spudulis, and A. Meškėnas, “Comparison of material properties of lightweight concrete with recycled polyethylene and expanded clay aggregates,” *Procedia Eng.*, vol. 172, pp. 937–944, 2017.
  - [29] Y. Qin, X. Zhang, J. Chai, Z. Xu, and S. Li, “Experimental study of compressive behavior of polypropylene-fiber-reinforced and polypropylene-fiber-fabric-reinforced concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 194, pp. 216–225, 2019.
  - [30] J. Thorneycroft, J. Orr, P. Savoikar, and R. J. Ball, “Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 161, pp. 63–69, 2018.