

ANALISIS PENGARUH FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI PARSIAL SEMEN PADA PEMBUATAN BATA RINGAN CLC (CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE)

Dhida Joan Lesmana¹, Ahmad Zarkasi², Nurul Hidayati³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

dhidajl@gmail.com

ABSTRACT

Keywords:

Fly ash;
CLC lightweight brick;
Density;
Water absorption;
Compressive strength.

Abstract: Cellular Lightweight Concrete (CLC) blocks are non-structural wall materials valued for their low weight; however, their characteristics require optimization to meet technical standards. Utilizing fly ash—a coal combustion byproduct—offers the potential to reduce cement consumption while supporting waste management and environmentally friendly, sustainable construction practices. This study aimed to analyze the effect of using fly ash as a partial cement replacement on the density, water absorption, compressive strength, and cracking patterns of CLC blocks, and to determine the appropriate replacement level based on SNI 8640:2018. An experimental study was conducted at the Civil Engineering Laboratory of Universitas Muhammadiyah Mataram, testing fly ash replacement levels of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% of the cement weight. Cubic specimens measuring 15 × 15 × 15 cm were used, with three samples per variation. Testing covered density, water absorption, and compressive strength at 28 days, as well as an analysis of cracking patterns following compression testing. The results showed that increasing the fly ash content reduced density from 713.58 kg/m³ (0% variation) to 645.93 kg/m³ (30% variation) but increased water absorption from 22.85% to 32.77%. The highest compressive strength was achieved at the 0% variation (3.881 MPa at 28 days), while the lowest was at the 30% variation (1.763 MPa). Based on SNI 8640:2018, variations ranging from 0% to 20% met the compressive strength requirements; therefore, a 20% fly ash replacement level is recommended as the optimum. Cracking patterns did not show consistent trends, likely due to inconsistencies in manual mixing.

Kata Kunci:

Fly ash;
Bata ringan CLC;
Densitas;
Daya serap air;
Kuat tekan.

Abstrak: Bata ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC) merupakan material dinding non-struktural yang memiliki keunggulan berupa bobot ringan, namun karakteristiknya perlu dioptimalkan agar memenuhi persyaratan teknis. Pemanfaatan fly ash sebagai limbah hasil pembakaran batu bara berpotensi mengurangi penggunaan semen sekaligus mendukung pengelolaan limbah dan material konstruksi berkelanjutan yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan fly ash sebagai pengganti parsial semen terhadap densitas, daya serap air, kuat tekan, dan pola retakan bata ringan CLC serta menentukan kadar penggunaan yang sesuai berdasarkan SNI 8640:2018. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram dengan variasi penggantian fly ash sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat semen. Benda uji berbentuk kubus berukuran 15 × 15 × 15 cm dengan tiga sampel pada setiap variasi. Pengujian meliputi densitas, daya serap air, kuat tekan pada umur 28 hari, serta analisis pola retakan setelah pengujian tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar fly ash menurunkan densitas dari 713,58 kg/m³ pada variasi 0% menjadi 645,93 kg/m³ pada variasi 30%, tetapi meningkatkan daya serap air dari 22,85% menjadi 32,77%. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 0%, yaitu 3,881 MPa pada umur 28 hari, sedangkan terendah pada variasi 30% sebesar 1,763 MPa. Berdasarkan SNI 8640:2018, variasi 0%–20% memenuhi persyaratan kuat tekan, sehingga penggunaan fly ash 20% direkomendasikan sebagai kadar optimum. Pola retakan tidak menunjukkan pengaruh yang konsisten akibat ketidakkonsistenan pencampuran secara manual.

Article History:

Received : 01-10-2026

Accepted : 30-11-2026



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

A. INTRODUCTION

Dinding merupakan elemen penting dalam konstruksi karena berfungsi sebagai pembentuk ruang dan bagian dari tampilan bangunan. Penggunaan bata ringan berkembang sebagai alternatif terhadap bata konvensional karena bobotnya lebih rendah dan pemasangannya relatif efisien. Dalam konteks material yang lebih berkelanjutan, pemanfaatan limbah industri sebagai bagian dari bahan penyusun bata ringan juga menjadi salah satu arah pengembangan material konstruksi Windayati & Hadi (2023).

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang memiliki partikel halus dan kandungan senyawa silika, alumina, serta besi yang dapat berperan dalam reaksi pozzolanik. Pemanfaatan material tersebut dapat mengurangi limbah sekaligus mengurangi penggunaan bahan pengikat berbasis semen, sehingga berpotensi memberikan manfaat teknis dan lingkungan (Yemima dkk. 2023). Dalam penelitian ini, *fly ash* yang digunakan berasal dari limbah PLTU Jeranjang, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengaruh *fly ash* terhadap bata ringan CLC tidak menghasilkan kadar optimum yang sama. Bella dkk. (2017) melaporkan bahwa variasi 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi dalam penelitiannya, sedangkan Rini Rahmayanti dkk. (2023) memperoleh hasil terbaik pada 30%. Suryanita dkk. (2024) memperoleh kuat tekan tertinggi pada 10%, sementara Ulfa dkk. (2025) menunjukkan bahwa 5% menghasilkan kuat tekan maksimum dan 15% menghasilkan daya serap air minimum. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya pengaruh jenis material, komposisi, metode pembuatan, dan kondisi perawatan terhadap kinerja CLC. Studi lain pada beton seluler dan beton berbusa juga menunjukkan bahwa perubahan kadar dan karakteristik *fly ash* dapat memengaruhi densitas, struktur pori, kuat tekan, serta kestabilan busa, sehingga hasil optimum sangat bergantung pada sistem campuran dan proses produksi (Li et al., 2021; Ye et al., 2024; Song et al., 2025; Tiyasangthong et al., 2022).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengkaji pengaruh *fly ash* sebagai pengganti parsial semen pada variasi 0%–30% terhadap densitas, daya serap air, kuat tekan, dan pola retakan bata ringan CLC. Tujuan penelitian adalah memperoleh kecenderungan perubahan karakteristik akibat penambahan *fly ash* serta menentukan kadar yang masih memberikan keseimbangan antara bobot ringan, penyerapan air, dan kuat tekan sesuai persyaratan teknis.

B. METHOD

1. Lokasi dan Rancangan Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimental

dengan tujuh variasi penggantian fly ash, yaitu BR0%, BR5%, BR10%, BR15%, BR20%, BR25%, dan BR30%. Setiap variasi dibuat tiga benda uji berbentuk kubus berukuran $15 \times 15 \times 15$ cm. BR0% digunakan sebagai campuran pembanding.

2. Bahan dan Prosedur

Bahan yang digunakan terdiri atas semen Portland, pasir sungai lokal, air, foam agent merek PATEN, fly ash dari PLTU Jeranjang, dan oli sebagai pelumas cetakan. Proporsi dasar campuran mengacu pada data sekunder penelitian Bella dkk. (2017) dan SOP PT. Brikkoe Jaya Perkasa, yaitu 360 kg pasir, 280 kg semen, 180 liter air, serta 1 liter foam agent yang dicampur dengan 40 liter air. Fly ash digunakan sebagai pengganti parsial semen sesuai variasi penelitian.

Sebelum pembuatan benda uji dilakukan pemeriksaan agregat halus yang meliputi kadar air, kadar lumpur, berat satuan, gradasi saringan, dan berat jenis. Material semen, pasir, dan fly ash ditimbang sesuai komposisi, kemudian dicampur menggunakan hand mixer sambil menambahkan air secara bertahap. Foam agent yang telah dibuat menjadi busa dimasukkan ke dalam adukan dan dicampur hingga merata. Adukan dituangkan ke dalam cetakan, diratakan, kemudian cetakan dibuka setelah tiga hari dan benda uji menjalani perawatan sebelum pengujian.

3. Pengujian dan Analisis Data

Pengujian densitas dilakukan dengan membandingkan massa benda uji terhadap volumenya. Daya serap air dihitung dari perbandingan pertambahan massa setelah perendaman terhadap massa kering. Kuat tekan diuji menggunakan Compression Testing Machine (CTM) sampai benda uji mengalami keruntuhan. Umur benda uji yang digunakan pada umur 28 hari. Pola retakan diamati secara visual setelah pengujian tekan dan diklasifikasikan dengan mengacu pada tipe keruntuhan yang dibahas dalam ASTM C39/C39M.

$$f'c = P/A \quad (1)$$

Pada Pers. (1), $f'c$ adalah kuat tekan dalam MPa, P adalah beban maksimum yang diterima benda uji dalam N, dan A adalah luas penampang tekan dalam mm^2 . Seluruh hasil kemudian dibandingkan antarvariasi dan terhadap persyaratan SNI 8640:2018 untuk bata ringan pasangan dinding.

C. RESULTS & DISCUSSION

1. Karakteristik agregat halus

Hasil pemeriksaan agregat menunjukkan kadar air rata-rata sebesar 2,78% dan kadar lumpur rata-rata 2,57%. Nilai tersebut berada di bawah batas 5% yang digunakan

dalam penelitian. Berat satuan lepas rata-rata sebesar 1,081 kg/liter dan berat satuan padat sebesar 1,358 kg/liter. Hasil analisis gradasi menghasilkan modulus halus butir sebesar 3,45 dan berada pada zona gradasi nomor 2 atau kategori sedang. Berat jenis *bulk* dan SSD masing-masing sebesar 2,5 gr/cm³, berat jenis semu sebesar 2,7 gr/cm³, sedangkan penyerapan air sebesar 2,7%. Berdasarkan hasil tersebut, agregat halus yang digunakan dinilai memenuhi kriteria yang diterapkan dalam penelitian.

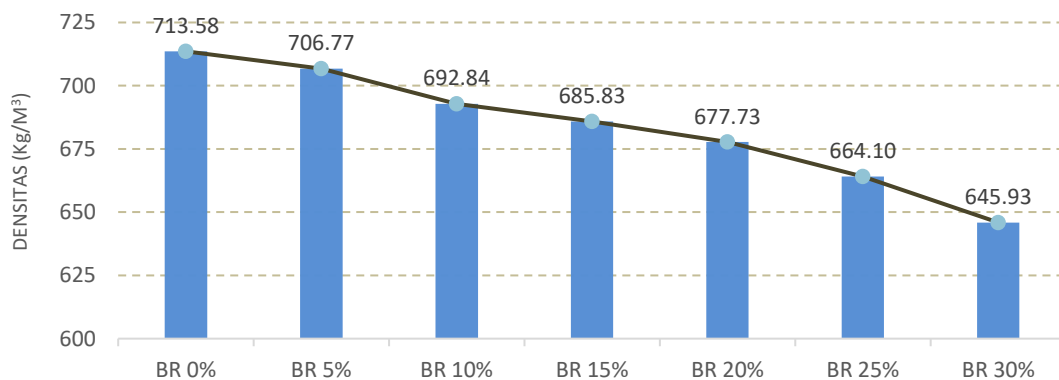
2. Densitas bata ringan

Tabel 1 menunjukkan kecenderungan penurunan densitas seiring peningkatan kadar *fly ash*. Densitas BR0% sebesar 713,58 kg/m³ turun menjadi 645,93 kg/m³ pada BR30%. Penurunan tersebut sejalan dengan hasil penelitian dalam skripsi yang menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* menghasilkan bata ringan dengan massa jenis lebih rendah. Kondisi ini mendukung tujuan utama CLC sebagai material dinding yang ringan.

Tabel 1. menyajikan nilai densitas rata-rata pada setiap variasi.

Variasi <i>fly ash</i>	Densitas (kg/m ³)
BR0%	713.58
BR5%	706.77
BR10%	692.84
BR15%	685.83
BR20%	677.73
BR25%	664.10
BR30%	645.93

Sumber: Hasil penelitian, 2026.



Gambar 1. Hubungan kadar *fly ash* terhadap densitas bata ringan CLC

Kecenderungan penurunan densitas menjadi semakin jelas pada kadar *fly ash* yang lebih tinggi. Dalam konteks penelitian ini, perubahan densitas merupakan konsekuensi positif dari target material ringan, tetapi harus dinilai bersama kuat tekan dan daya serap air agar tidak hanya mengejar bobot yang rendah.

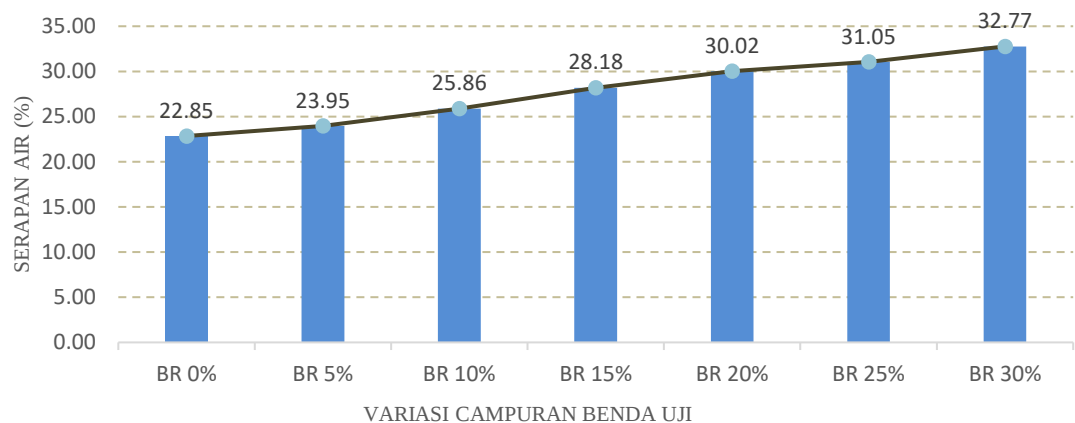
3. Daya serap air

Hasil pengujian menunjukkan kenaikan daya serap air secara konsisten dari 22,85% pada BR0% menjadi 32,77% pada BR30%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* pada komposisi penelitian ini berkaitan dengan perubahan struktur pori yang memungkinkan lebih banyak air masuk ke dalam material.

Tabel 2. memperlihatkan nilai rata-rata daya serap air setiap variasi.

Variasi <i>fly ash</i>	Daya serap air (%)
BR0%	22.85
BR5%	23.95
BR10%	25.86
BR15%	28.18
BR20%	30.02
BR25%	31.05
BR30%	32.77

Sumber: Hasil penelitian, 2026.



Gambar 2. Hubungan kadar *fly ash* terhadap daya serap air

Pola tersebut berbeda dengan sebagian penelitian terdahulu yang melaporkan penurunan daya serap pada kadar tertentu. Perbedaan dapat berkaitan dengan komposisi campuran, jenis *fly ash*, proses pembentukan busa, dan metode pencampuran. Karena penelitian ini menggunakan pencampuran manual, kestabilan distribusi pori dapat menjadi salah satu faktor yang memengaruhi hasil. Temuan mengenai hubungan antara kadar *fly ash* dan sifat pori juga dilaporkan dipengaruhi oleh karakteristik serta pengolahan *fly ash*, sehingga perbedaan sumber dan metode preparasi dapat menghasilkan respons yang berbeda (Li et al., 2021).

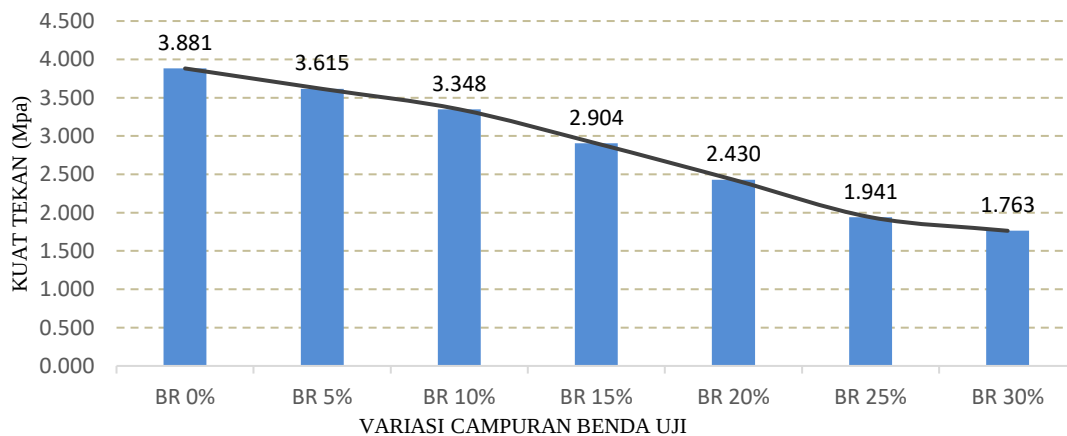
4. Kuat tekan

Kuat tekan merupakan parameter utama untuk menilai kemampuan bata ringan menahan beban tekan. Pada umur 7 hari, campuran BR0% menghasilkan nilai tertinggi sebesar 1,746 MPa. Setelah dikonversi ke umur 28 hari, nilai BR0% menjadi 2,686 MPa. Nilai 28 hari kemudian menurun bertahap hingga 1,570 MPa pada BR30%. Hasil lengkap ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Variasi Kuat tekan 28 hari (MPa)

Variasi	Kuat tekan 28 hari (MPa)
BR0%	3,881
BR5%	3,615
BR10%	3,348
BR15%	2,904
BR20%	2,430
BR25%	1,941
BR30%	1,763

Sumber: Hasil penelitian, 2026

**Gambar 3.** Hubungan kadar *fly ash* terhadap kuat tekan umur 28 hari

Penurunan kuat tekan menunjukkan bahwa peningkatan kadar penggantian pada campuran ini tidak memberikan peningkatan kekuatan. Hal tersebut berbeda dari beberapa penelitian terdahulu yang menemukan kadar optimum pada 10%–30%. Perbedaan hasil menegaskan bahwa kadar optimum *fly ash* sangat dipengaruhi oleh material dan prosedur produksi. Dalam penelitian ini, BR0% sampai BR20% masih berada di atas persyaratan kuat tekan minimum yang digunakan, sedangkan BR25% dan BR30% berada di bawahnya.

5. Pola retakan

Pola keruntuhan setelah pengujian tekan didominasi tipe Columnar. Tipe Cone and Split ditemukan pada BR10%, BR15%, dan BR25%, sedangkan BR0%, BR5%, BR20%, dan BR30% menunjukkan tipe Columnar. Variasi pola tersebut tidak membentuk kecenderungan yang dapat dikaitkan secara spesifik dengan peningkatan kadar *fly ash*. Skripsi mengaitkan ketidakkonsistenan ini dengan pencampuran manual yang kurang seragam dan distribusi pembebanan yang tidak merata.

Tabel 4. Variasi dan Pola Retakan

Variasi	Pola retakan
BR0%	Columnar
BR5%	Columnar
BR10%	Cone and Split
BR15%	Cone and Split

BR20%	Columnar
BR25%	Cone and Split
BR30%	Columnar

Sumber: Hasil pengamatan pola retakan, 2026.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan adanya kompromi antara karakteristik ringan dan performa mekanis. Semakin tinggi *fly ash*, densitas menurun, tetapi daya serap air meningkat dan kuat tekan menurun. Berdasarkan tiga parameter utama tersebut, BR20% dipilih sebagai kadar rekomendasi karena masih memenuhi persyaratan kuat tekan sekaligus memberikan densitas yang lebih rendah dibandingkan campuran kontrol. Kesimpulan ini mengikuti hasil penelitian dan tidak menyatakan bahwa BR20% merupakan titik optimum universal untuk semua jenis *fly ash* atau metode produksi.

D. CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti parsial semen pada bata ringan CLC memberikan pengaruh yang nyata terhadap karakteristik fisik dan mekanis yang diuji. Peningkatan kadar *fly ash* dari 0% menjadi 30% menurunkan densitas dari 713,58 kg/m³ menjadi 645,93 kg/m³, sedangkan daya serap air meningkat dari 22,85% menjadi 32,77%. Kuat tekan umur 28 hari menurun dari 3,881 MPa pada BR0% menjadi 1,763 MPa pada BR30%, sehingga variasi BR0%–BR20% memenuhi persyaratan kuat tekan yang digunakan berdasarkan SNI 8640:2018, sedangkan BR25% dan BR30% belum memenuhi. Pola retakan didominasi tipe Columnar dan tidak menunjukkan hubungan yang konsisten dengan kadar *fly ash*. Dengan mempertimbangkan densitas, daya serap air, dan kuat tekan secara bersama-sama, penggunaan *fly ash* sebesar 20% direkomendasikan untuk kondisi penelitian ini karena masih memenuhi persyaratan teknis bata ringan non-struktural.

REFERENCES

- Gökçe, H. S., Hatungimana, D., & Ramyar, K. (2019). Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete. *Construction and Building Materials*, 194, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.036>
- Li, G., Tan, H., He, X., Zhang, J., Deng, X., Zheng, Z., & Guo, Y. (2021). The influence of wet ground fly ash on the performance of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 304, 124676. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124676>
- Zhang, S., Qi, X., Guo, S., & Ren, L. (2022). A systematic research on foamed concrete: The effects of foam content, fly ash, slag, silica fume and water-to-binder ratio. *Construction and Building Materials*, 339, 127683. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127683>
- Zhang, D., Ding, S., Ma, Y., & Yang, Q. (2022). Preparation and properties of foam concrete incorporating fly ash. *Materials*, 15(18), 6287. <https://doi.org/10.3390/ma15186287>
- Li, S., Li, H., & Yan, C. (2022). Investigating the mechanical and durability characteristics of fly ash foam concrete. *Materials*, 15(17), 6077. <https://doi.org/10.3390/ma15176077>
- iysangthong, S., Yoosuk, P., Krosoongnorn, K., Krittacom, B., Nachaisit, P., & Suksiripattanapong, C. (2022). Unit weight, strengths and thermal conductivity of cellular lightweight fly ash geopolymer mortar reinforced with polyvinyl alcohol. *Civil Engineering and Architecture*, 10(7), 2943–2952. <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100713>

- Yemima, A. G. M. P., Abdi, F. N., & Haryanto, B. (2023). Pemanfaatan limbah fly ash untuk bahan tambah pembuatan batu bata ringan. *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 7(2), 56–61. <https://doi.org/10.30872/ts.v7i2.13188>
- Rahmayanti, R., Bahar, F. F., & Nuklirullah, M. (2023). Pemanfaatan dan pengaruh fly ash batu bara sebagai substitusi sebagian semen terhadap nilai kuat tekan bata ringan jenis Cellular Lightweight Concrete (CLC). *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 218–228. <https://doi.org/10.31849/siklus.v9i2.11438>
- Windayati, H. D., & Hadi, D. W. (2023). Analisa campuran green material sebagai alternatif pembuatan bata ringan untuk pekerjaan dinding. *Jurnal Infomanpro*, 12(1), 31–40. <https://doi.org/10.36040/infomanpro.v12i1.6499>
- Guan, L.-L., Chen, Y.-G., Ye, W.-M., Wu, D.-B., & Deng, Y.-F. (2023). Foamed concrete utilizing excavated soil and fly ash for urban underground space backfilling: Physical properties, mechanical properties, and microstructure. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 134, 104995. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.104995>
- Suryanita, R., Putra, A. M., & Maizir, H. (2024). Studi eksperimental sifat mekanis bata ringan CLC dengan penambahan fly ash. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 215–227. <https://doi.org/10.31849/siklus.v10i2.21182>
- Zhang, C., Zhu, Z., Shi, L., Kang, X., Wan, Y., Huo, W., & Yang, L. (2024). Compressive strength and sensitivity analysis of fly ash composite foam concrete: Efficient machine learning approach. *Advances in Engineering Software*, 192, 103634. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2024.103634>
- Song, Q., Zou, Y., Zhang, P., Xu, S., Yang, Y., Bao, J., Xue, S., Liu, J., Gao, S., & Lin, L. (2025). Novel high-efficiency solid particle foam stabilizer: Effects of modified fly ash on foam properties and foam concrete. *Cement and Concrete Composites*, 155, 105818. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105818>
- Ye, Y.-Q., Han, J., O'Reilly, M., Dolton, B., & Parsons, R. L. (2024). Experimental study on physical and mechanical properties of lightweight cellular concrete specimens cast in field and laboratory. *Transportation Research Record*, 2678(10). <https://doi.org/10.1177/03611981241231800>
- Raj, S., & Ramamurthy, K. (2023). Physical, hydrolytic, and mechanical stability of alkali-activated fly ash-slag foam concrete. *Cement and Concrete Composites*, 142, 105223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105223>
- Standar Nasional Indonesia 1969 (2016), Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Standar Nasional Indonesia (1989) Bata beton untuk pasangan dinding, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Standar Nasional Indonesia 8640 (2018) Spesifikasi bata ringan untuk pasangan dinding, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Standar Nasional Indonesia 2847 (2019), Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional