Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (3) 2025, Page: 24203-24213

Analisis Durabilitas Bata Ringan Berbasis Fly Ash Sebagai Material Konstruksi Ramah Lingkungan

Zidan Rafsanjani[1], Hamsyah[2], Kasmaida[3], Jasman[4], Hendro Widarto[5]
[1,2,3,4,5]Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare, Indonesia
Corresponding Author: Zidan Rafsanjani, Email: zidanrafsanjani27@gmail.com

Published: September, 2025

ABSTRAK

Latar belakang penelitian ini didasari oleh kebutuhan untuk mengurangi dampak lingkungan akibat produksi semen, yang menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) tinggi, dengan memanfaatkan fly ash untuk menggantikan sebagian penggunaan semen. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis durabilitas bata ringan berbasis fly ash sebagai material konstruksi ramah lingkungan. Jernis pernerlitian yang digurnakan pada pernerlitian ini adalah erksperrimern kurantitatif dengan menentukan komposisi terbaik dari campuran bata ringan dengan tambahan fly ash yang di lakukan penelitian di labolatorium program studi teknik sipil dengan menggunakan variasi campuran fly ash pada bata ringan (CLC). Pengujian meliputi daya serap air, kuat tekan, dan keausan setelah masa umur 28 hari. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan fly ash 0%, 5%, 10%, 15% menghasilkan persentase optimal yang mampu menurunkan daya serap air sebesar 8,60% sehingga lebih tahan terhadap kelembapan air dan meningkatkan kuat tekan sebesar 5,33 MPa. Selain itu, keausan bata ringan cenderung menurun seiring bertambahnya kadar fly ash, hal ini ditunjukkan pada peningkatan ketahanan aus sebesar 7,60%. Variasi campuran dengan persentase fly ash tertentu terbukti memberikan performa terbaik, sehingga limbah industri ini berpotensi dimanfaatkan sebagai material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan mendorong pertumbuhan pembangunan yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Bata Ringan; Daya Serap Air, *Fly Ash*, Keausan, Kuat Tekan

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Konstruksi modern menghadapi tantangan signifikan terkait pemilihan material yang kuat dan ramah lingkungan, di mana bata merah yang berasal dari tanah liat sering kali tidak memenuhi prinsip keberlanjutan (Chang & Antwi-Afari, 2023). Proses pembakaran bata merah dapat menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) yang berkontribusi terhadap efek rumah kaca, dengan kadar CO_2 yang meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir (Romanova, 2016). Dalam upaya menemukan alternatif yang lebih berkelanjutan, penelitian menunjukkan potensi material baru yang menggabungkan kekuatan, efisiensi, dan dampak lingkungan yang lebih rendah, seperti penggunaan material berbahan dasar tanah liat yang dimodifikasi (Almusaed et al., 2024). Teknologi pencetakan 3D juga diakui sebagai metode inovatif yang berpotensi mengoptimalkan proses konstruksi dan mempromosikan praktik pembangunan yang lebih berkelanjutan (Góra et al., 2024). Pencarian material alternatif yang memenuhi kriteria ini menjadi sangat mendesak untuk menjawab kebutuhan zaman (Kioumarsi & Plevris, 2024).

Konstruksi modern yang berkelanjutan, bata ringan, baik *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) maupun *Cellular Lightweight Concrete* (CLC), dipandang sebagai alternatif efisien. Material ini memanfaatkan bobot ringan dan isolasi termal yang baik, sehingga berkontribusi terhadap pengurangan konsumsi energi dalam penggunaan bangunan (Cordoba & Irassar, 2023). Namun, ketergantungan pada semen dalam produksi bata ringan menghadirkan tantangan lingkungan, mengingat industri semen merupakan penyumbang utama emisi CO_2 melalui proses kalsinasi (Ahmad et al., 2021). Paradoks ini menuntut inovasi untuk menyempurnakan proses produksi bata ringan, termasuk penggunaan

bahan substitusi seperti fly ash. Penggunaan fly ash dapat mengurangi jejak karbon dari pembuatan beton dengan memperbaiki karakteristik fisik campuran, serta signifikan dalam pengurangan emisi karbon dioksida dan memperkuat performa struktural dari bata ringan (Félix & Possan, 2018). Dengan pendekatan ini, implementasi material ramah lingkungan tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga memperbaiki efisiensi ekonomi dalam konstruksi (Ardana et al., 2024).

Upaya menciptakan material konstruksi yang memiliki durabilitas tinggi sembari mengurangi dampak lingkungan dari produksi semen, *Fly Ash* muncul sebagai alternatif yang menjanjikan. *Fly Ash*, yang merupakan residu dari pembakaran batu bara, kaya akan silika dan alumina, memungkinkan penggunaannya sebagai substitusi semen dalam campuran beton dan bata ringan (Suryani et al., 2023). Meskipun potensi ini masih terganjal oleh pemanfaatan yang rendah di Indonesia, yang hanya mencapai 10–12% terutama di Pulau Jawa, hambatan regulasi mengenai penanganan *Fly Ash* sebagai limbah B3 menghambat integrasi lebih lanjut ke dalam industri konstruksi (Jones et al., 2017). Sebagai solusi untuk mengatasi isu ini, penggantian sebagian semen dengan fly ash dapat meningkatkan sifat mekanis dan daya tahan material (Assi et al., 2019). Selain itu, penggunaan fly ash tidak hanya berpotensi mengurangi jejak karbon, tetapi juga mengatasi masalah penumpukan yang diperkirakan akan mencapai 10,4 juta ton per tahun pada 2027 jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, integrasi fly ash dalam pengembangan bata ringan merupakan langkah penting untuk mencapai solusi konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pendekatan solutif untuk mengurangi dampak lingkungan di sektor konstruksi adalah melalui pemanfaatan fly ash sebagai substitusi parsial semen dalam produksi bata ringan. Penelitian ini mengkaji dua aspek penting: pertama, pengaruh penambahan fly ash terhadap durabilitas bata ringan, yang meliputi daya serap air, kuat tekan, dan keausan; kedua, perbandingan kinerja antara bata ringan normal dengan bata ringan berbasis fly ash dalam konteks keberlanjutan (Rahmayanti et al., 2023). Penggunaan fly ash dikatakan mampu meningkatkan sifat mekanis bata ringan, di mana penelitian menunjukkan bahwa substitusi semen sebanyak 20% hingga 50% dengan fly ash dapat menghasilkan bata ringan dengan kuat tekan yang kompetitif (Yusra et al., 2018). Selain itu, batangan bata ringan yang mengandung fly ash menunjukkan penurunan daya serap air, yang menandakan peningkatan durabilitas (Rahmayanti et al., 2023). Dengan memanfaatkan fly ash, akan ada pengurangan limbah industri, serta efisiensi energi dalam proses produksi, menjadikannya langkah strategis menuju pembangunan yang lebih berkelanjutan (Jamal et al., 2024). Dengan pertimbangan tersebut, integrasi fly ash dalam komposisi bata ringan menjadi sangat relevan, tidak hanya dari segi teknis tetapi juga dalam kerangka agenda pembangunan berkelanjutan yang semakin mendesak saat ini (Sultan et al., 2019).

Pemanfaatan fly ash sebagai substitusi semen dalam produksi bata ringan menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan performa material konstruksi. Penelitian oleh Yemima et al. (2023) menunjukkan bahwa penambahan fly ash sebanyak 15% dapat meningkatkan kuat tekan bata hingga 8,73 MPa (Triana, 2023). Kegiatan penelitian lain oleh Maulana et al. (2023) menemukan bahwa proporsi fly ash 25% dapat menghasilkan densitas optimal 1482,4 kg/m³ dan kuat tekan mencapai 17,7 MPa, menegaskan pentingnya proporsi yang tepat dalam formulasi (Kamal, 2016). Variasi fly ash hingga 30% meningkatkan kuat tekan bata ringan CLC menjadi 8,539 MPa, yang menunjukkan bahwa penggunaan fly ash tidak hanya meningkatkan kekuatan tetapi juga ketahanan terhadap kelembapan. Secara keseluruhan, data ini menyiratkan bahwa optimalisasi komposisi fly ash dapat berkontribusi secara signifikan terhadap durabilitas dan kinerja bata ringan, menjadikannya alternatif berkelanjutan dalam industri konstruksi.

Pemanfaatan fly ash sebagai substitusi sebagian semen dalam konteks beton geopolimer menunjukkan hasil yang menjanjikan. Peningkatan kandungan fly ash dalam campuran beton geopolimer berbasis bottom ash dapat meningkatkan kekuatan tekan, namun penelitian spesifik mengenai kekuatan tekan pada limbah bata ringan tidak dijelaskan secara langsung (Deraman et al., 2016). Di sisi lain, penggantian semen dengan fly ash dapat mempengaruhi waktu pengaturan awal dan akhir dari beton, yang dapat berimplikasi pada sifat kekuatan beton (Suryani et al., 2023). Kekuatan geopolimer berbasis fly ash meningkat seiring bertambahnya waktu, dengan peningkatan kekuatan pada usia 28 hari berkisar antara 10 hingga 20% dibandingkan dengan kekuatan pada hari

ke-7, menegaskan manfaat jangka panjang dari penggunaan fly ash (Gunasekara et al., 2016). Kualitas material ini menandakan bahwa fly ash dapat berkontribusi signifikan dalam menciptakan beton yang lebih kuat dan berkelanjutan.

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa penelitian mengenai pemanfaatan fly ash dalam bata ringan telah berkembang; namun, ada celah signifikan, terutama dalam aspek durabilitas. Banyak studi terkonsentrasi pada kuat tekan dan densitas, sedangkan investigasi mengenai ketahanan terhadap abrasi, daya serap air, dan interaksi dengan kondisi lingkungan ekstrem masih terbatas. Hubungan negatif antara jenis agregat ringan dan berat jenis beton dalam konteks durabilitas beton berbasis fly ash, penelitian tersebut lebih fokus pada beton struktural tanpa mengkaji aplikasi dalam bata ringan (Ibrahim et al., 2015). Fly ash memiliki potensi dalam berbagai aplikasi pembangunan termasuk bata ringan, tetapi penelitian yang khusus mengkaji ketahanan bata ringan terhadap pengaruh lingkungan masih belum memadai (Nuaklong et al., 2019). Penelitian lebih lanjut yang memperhatikan faktor-faktor durabilitas dan kondisi nyata sangat dibutuhkan untuk memahami bagaimana fly ash dapat digunakan secara optimal dalam bata ringan (Citra et al., 2023). Dengan demikian, riset berbasis fly ash dalam aspek durabilitas konkret untuk bata ringan tidak hanya penting tetapi juga menjadi arah penelitian yang esensial.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara empiris pengaruh penambahan fly ash terhadap durabilitas bata ringan, meliputi uji daya serap air, kuat tekan, dan keausan, serta membandingkannya dengan bata ringan normal. Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus integratif terhadap tiga aspek durabilitas sekaligus, bukan hanya pada satu variabel mekanis. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu memberikan justifikasi hipotesis bahwa penambahan fly ash dalam komposisi bata ringan tidak hanya memperkuat sifat mekanis, tetapi juga meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan dan abrasi, menjadikannya sebagai material alternatif yang benar-benar ramah lingkungan. Lingkup penelitian ini terbatas pada penggunaan fly ash dari PLTU Barru, semen Portland komposit, pasir lokal, serta pengujian laboratorium selama umur uji 28 hari. Dengan kerangka tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan yang sesuai dengan agenda dekarbonisasi industri bangunan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk menguji pengaruh penambahan fly ash sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan bata ringan. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan bukti empiris melalui pengujian laboratorium yang terkontrol. Metode eksperimen kuantitatif memungkinkan peneliti untuk menilai hubungan kausal antara variabel bebas dan variabel terikat dengan pengendalian faktor-faktor lain. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada pengujian durabilitas bata ringan yang meliputi kuat tekan, daya serap air, dan keausan setelah umur uji mencapai 28 hari. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Universitas Muhammadiyah Parepare. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada ketersediaan fasilitas uji yang sesuai dengan standar nasional, termasuk peralatan uji tekan, oven, mesin Los Angeles, serta cetakan benda uji. Bahan utama berupa fly ash diperoleh dari PLTU Barru di Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan. Pemilihan fly ash dari sumber ini bertujuan untuk memastikan konsistensi karakteristik material yang diuji.

Rancangan penelitian disusun untuk menguji variasi persentase fly ash sebagai substitusi sebagian semen, yaitu 0%, 5%, 15%, dan 25%. Setiap variasi terdiri dari enam benda uji, dengan tiga sampel digunakan untuk uji kuat tekan dan tiga sampel lainnya untuk uji keausan. Selain itu, seluruh variasi diuji terhadap daya serap air. Dengan demikian, total sampel penelitian mencapai 24 kubus uji. Rancangan ini memungkinkan analisis perbandingan yang komprehensif antara bata ringan normal dan bata ringan berbasis fly ash. Tahap pembuatan benda uji diawali dengan persiapan material berupa penimbangan semen, pasir, dan fly ash sesuai variasi campuran. Selanjutnya, bahan kering dicampur menggunakan mixer hingga homogen, lalu ditambahkan air secara bertahap. Setelah tercampur rata, foam agent dimasukkan untuk menghasilkan struktur berpori pada adonan. Campuran kemudian dituangkan ke dalam cetakan kubus, diratakan, dan dibiarkan selama tiga hari

sebelum dilepaskan dari cetakan. Setelah itu, benda uji dikeringkan dan dirawat selama 28 hari. Proses curing dilakukan dengan perendaman dalam air untuk menjaga kelembapan material, sesuai dengan standar perawatan beton (SNI 03-2834-2000).

Terdapat 3 jenis pengujian dalam penelitian ini, pengujian daya serap air, pengujian kuat tekan, dan pengujian tingkat keausan. Pengujian daya serap air dilakukan dengan metode perendaman 24 jam. Benda uji yang telah mencapai umur 28 hari dikeringkan dalam oven pada suhu 110 ± 5 °C hingga mencapai berat tetap (w1). Selanjutnya, benda uji direndam selama 24 jam dan ditimbang kembali dalam kondisi basah (w2). Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin uji tekan hidrolis. Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 50 × 50 × 50 mm ditempatkan secara sentris pada mesin uji. Tekanan diberikan secara bertahap dengan laju beban 0,1 MPa per detik hingga benda uji hancur. Uji keausan bertujuan untuk menilai ketahanan bata ringan terhadap abrasi. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles, kemudian diputar dengan kecepatan 30–33 rpm selama 500 putaran. Setelah itu, benda uji disaring menggunakan saringan No.12. Nilai keausan dihitung sebagai persentase kehilangan berat benda uji setelah pengujian (SNI 2417:2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian agregat halus memiliki tujuan utama untuk menjamin bahwa material yang digunakan dalam campuran beton atau bata ringan memenuhi standar teknis yang ditetapkan, sehingga dapat menciptakan produk konstruksi berkualitas tinggi. Agregat halus berperan sebagai pengisi dalam adukan semen, di mana karakteristik fisik dan mekaniknya sangat berpengaruh terhadap kekuatan, durabilitas, dan stabilitas produk akhir. Gradasi agregat dinilai penting dalam mempengaruhi slump dan kekuatan tekan beton (Umar & Trimurtiningrum, 2023). Berbicara mengenai *fly ash*, *fly ash* tipe C dapat berfungsi sebagai aditif yang efektif dalam meningkatkan kuat tekan beton (Jamal et al., 2024). Penelitian dengan ilustrasi terhadap penambahan aditif pada bata ringan diantaranya menunjukkan bahwa *bottom ash* dapat meningkatkan kekuatan beton dengan berfungsi sebagai penganti agregat halus (Posedung et al., 2020). Penerapan agregat alternatif seperti limbah plastik juga terbukti dapat memberikan hasil yang baik dalam pengujian sifat beton (Sofyan, 2021).

Tabel 1. Rekap Hasil Pengujian Agregat Halus

Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pengamatan		Rata-Rata	Keterangan
		I	II		
Kadar Lumpur	Maks 5%	5.7%	1.7%	3.73%	Memenuhi
Kadar Organik	<No.3	1	1	1	Memenuhi
Kadar Air	2%-5%	4.08%	4.71%	4.40%	Memenuhi
Berat Volume					
a. Kondisi Lepas	1.4-1.9 Kg/Liter	1.42	1.45	1.44	Memenuhi
b. Kondisi Padat	1.4-1.9 Kg/Liter	1.49	1.55	1.52	Memenuhi
Absorpsi	0.2%-2%	2%	0.95%	1.39%	Memenuhi
Berat Jenis Spesifik					
a. BJ. Nyata	1.6 – 3.3	2.28	2.71	2.49	Memenuhi
b. BJ. Dasar Kering	1.6 – 3.3	2.19	2.64	2.41	Memenuhi
c. BJ. Kering Permukaan	1.6 – 3.3	2.23	2.66	2.44	Memenuhi
Modulus Kehalusan	1.50 – 3.80	3.07	2.98	3.03	Memenuhi

Sumber: Data Diolah (2025)

Berdasarkan tabel 1, parameter yang diuji meliputi kadar lumpur, kadar organik, kadar air, berat volume, absorpsi, berat jenis, dan modulus kehalusan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar lumpur rata-rata sebesar 3,73% masih berada dalam batas maksimum 5% sehingga memenuhi syarat SNI. Uji kadar organik menghasilkan warna sesuai standar rendah, yang berarti agregat tidak mengandung bahan organik berlebih. Kadar air tercatat 4,40% dan masih dalam interval 2–5%, sehingga dapat digunakan tanpa perlakuan tambahan. Berat volume agregat baik dalam kondisi lepas maupun padat masing-masing berada pada kisaran 1,44–1,52, sesuai standar 1,4–1,9. Nilai absorpsi sebesar 1,39% juga berada dalam batas standar 0,2–2%. Berat jenis nyata (2,49), dasar kering (2,41), dan kering permukaan (2,44) menunjukkan konsistensi mutu agregat yang baik. Sementara itu, nilai modulus kehalusan rata-rata sebesar 3,03 memenuhi syarat interval 2,9–3,2 untuk agregat halus.

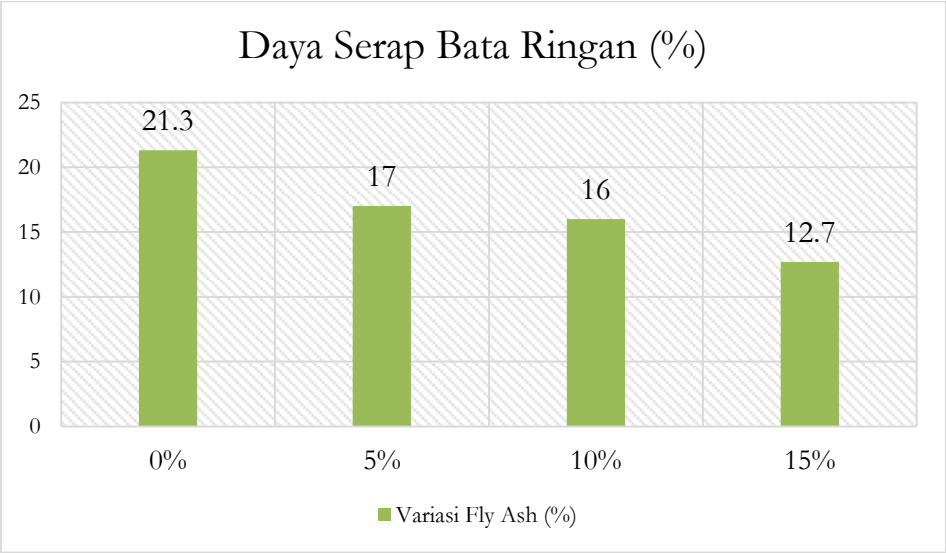
Uji daya serap air memiliki tujuan penting dalam menilai kemampuan bata ringan untuk menyerap air saat terendam dalam periode tertentu. Hasil dari pengujian ini mencerminkan porositas material; semakin rendah daya serap air, semakin padat dan baik kualitas bata dalam menahan kelembapan. penyerapan air yang berlebihan dapat merugikan struktur bata, menunjukkan bahwa nilai penyerapannya harus sesuai dengan standar SNI 15-2094-2000 (Ikhwanuddin & Maryana, 2020). komposisi material seperti silika dari abu sekam padi dapat meningkatkan karakteristik daya serap air bata ringan, memperkuat relevansi uji tersebut dalam konteks lingkungan yang lembap (Meliyana et al., 2019). Meskipun berfokus pada berbagai parameter fisik batu bata, termasuk daya serap air, konteks penggunaannya lebih berhubungan dengan kriteria kecocokan untuk pembangunan selokan daripada dampaknya terhadap kerusakan akibat kelembapan (Purba et al., 2021). Berikut adalah hasil rekapitulasi pengujian daya serap bata ringan dengan penambahan variasi *fly ash* dari variasi 0% hingga 15%.

Tabel 2. Hasil Pengujian Daya Serap Air Bata Ringan dengan Penambahan Variasi *Fly Ash*

Variasi	Umur	Beban Awal (G)	Beban Kering (G)	Daya Serap Air (%/Vol)	Rata-Rata (%/Vol)
0%	28	216	176	23.0	21.3
		227	189	20.0	
		200	165	21.0	
5%	28	152	129	18.0	17.0
		150	128	17.0	
		150	129	16.0	
10%	28	218	186	17.0	16.0
		206	178	16.0	
		204	177	15.0	
15%	28	195	174	12.0	12.7
		238	209	14.0	
		252	225	12.0	

Sumber: Data Diolah (2025)

Berdasarkan tabel 2. hasil pengujian terhadap empat variasi campuran fly ash, yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% pada umur uji 28 hari. Dari data tersebut terlihat bahwa daya serap air rata-rata tertinggi terdapat pada bata ringan tanpa fly ash (0%) sebesar 21,30%, sedangkan nilai terendah diperoleh pada campuran dengan fly ash 15% sebesar 12,70%. Variasi 5% menunjukkan rata-rata penyerapan sebesar 17,00%, dan variasi 10% sebesar 16,00%. Pola ini mengindikasikan adanya tren penurunan daya serap air seiring dengan bertambahnya persentase fly ash dalam campuran. Dengan demikian, semakin tinggi kadar fly ash yang digunakan, semakin rendah tingkat penyerapan air pada bata ringan, yang berarti material menjadi lebih tahan terhadap kelembapan. Hasil ini membuktikan bahwa fly ash berperan efektif dalam memperbaiki struktur pori bata ringan sehingga dapat meningkatkan durabilitasnya.



Gambar 1. Hasil Pengujian Daya Serap Bata Ringan (%)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan fly ash dalam campuran bata ringan secara signifikan mempengaruhi daya serap air. Peningkatan kadar fly ash dari 0% hingga 15% berkorelasi dengan penurunan daya serap air. Bata ringan tanpa fly ash menunjukkan daya serap air rata-rata tertinggi sebesar 21,30%, sementara kandungan fly ash 15% mencatat daya serap terendah di angka 12,70% (Mahmood et al., 2018). Tren penurunan ini menunjukkan bahwa fly ash berkontribusi dalam perbaikan struktur pori, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan bata ringan (Kepli et al., 2022). Penelitian yang dilakukan pada campuran dengan kadar fly ash 10% menunjukkan hasil yang optimal dalam meningkatkan daya tahan struktural material (Sriprasertsuk et al., 2016). Dengan demikian, penggunaan fly ash sebagai bahan tambahan tidak hanya meningkatkan durabilitas bata ringan tetapi juga memberi solusi dalam pengelolaan limbah (Yu et al., 2016).

Uji kuat tekan pada bata ringan bertujuan untuk menentukan kemampuan material ini dalam menahan beban tekan sebelum mengalami kerusakan. Hasil dari pengujian ini merupakan parameter utama yang menunjukkan kelayakan bata ringan untuk digunakan dalam konstruksi, terutama pada elemen dinding yang harus memberikan stabilitas struktural. substitusi fly ash sebagai sebagian dari semen dalam pembuatan bata ringan, nilai kuat tekan dapat ditingkatkan, memenuhi standar SNI 8640-2018 (Rahmayanti et al., 2023). Penggunaan abu batu gamping juga berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan bata ringan, menjadikan material dengan penambahan abu tersebut lebih kompetitif (Tondok & Mastor, 2020). Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan terhadap bata ringan dengan penambahan variasi *fly ash* pada kadar 0% hingga 15%.

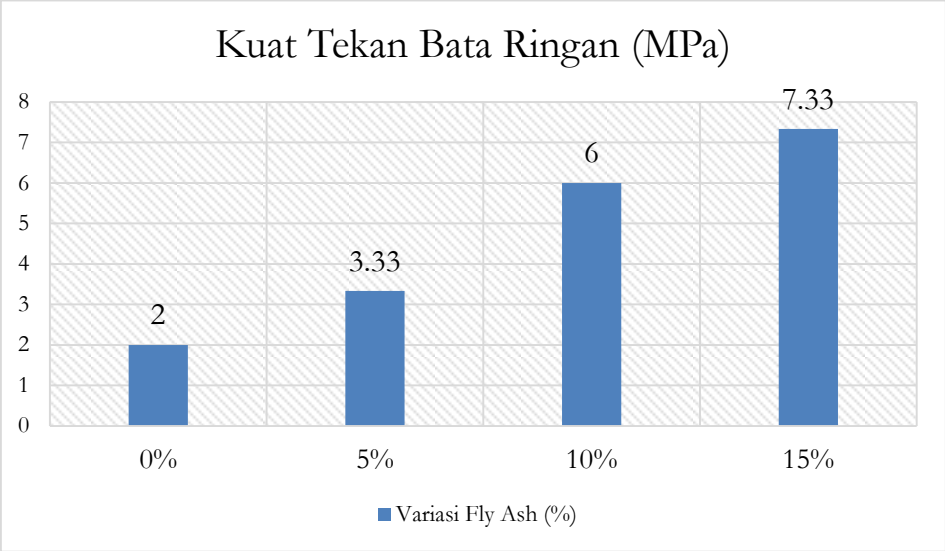
Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan dengan Penambahan Variasi *Fly Ash*

Variasi	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa	Koef
0%	28 Hari	0.174	5	2.00	1.00
		0.209	5	2.00	1.00
		0.225	5	2.00	1.00
Rata-Rata		**0.203**	**5.00**	**2.00**	**-**
5%	28 Hari	0.186	10	4.00	1.00
		0.178	10	4.00	1.00
		0.177	5	2.00	1.00
Rata-Rata		**0.180**	**8.33**	**3.33**	**-**
10%	28 Hari	0.129	15	6.00	1.00
		0.128	10	4.00	1.00
		0.129	20	8.00	1.00

Rata-Rata		**0.129**	**15.00**	**6.00**	**-**
15%	28 Hari	0.176	20	8.00	1.00
		0.189	25	10.00	1.00
		0.165	10	4.00	1.00
Rata-Rata		**0.177**	**18.33**	**7.33**	**-**

Sumber: Data Diolah (2025)

Tabel 3 memperlihatkan adanya peningkatan nilai kuat tekan seiring dengan bertambahnya persentase fly ash dalam campuran. Pada bata ringan tanpa fly ash (0%), kuat tekan rata-rata hanya mencapai 2,00 MPa. Penambahan fly ash 5% meningkatkan nilai rata-rata kuat tekan menjadi 3,33 MPa, sedangkan variasi 10% menunjukkan hasil lebih tinggi yaitu 6,00 MPa. Peningkatan paling signifikan terjadi pada variasi 15% dengan kuat tekan rata-rata mencapai 7,33 MPa. Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen dapat memperbaiki sifat mekanis bata ringan, khususnya dalam hal kekuatan tekan, sehingga semakin tinggi kadar fly ash yang ditambahkan dalam batas tertentu, semakin baik pula kinerja struktural bata ringan yang dihasilkan.



Gambar 2. Hasil Uji Kuat Tekan Bata Ringan (MPa)

Penelitian ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam nilai kuat tekan bata ringan seiring bertambahnya persentase fly ash dalam campuran. Pada bata ringan tanpa fly ash (0%), kuat tekan rata-rata sebesar 2,00 MPa, sedangkan penambahan fly ash 5% meningkatkan nilai tersebut menjadi 3,33 MPa. Selanjutnya, variasi 10% menunjukkan peningkatan lebih lanjut dengan kuat tekan rata-rata 6,00 MPa, dan variasi 15% memberikan hasil tertinggi dengan 7,33 MPa. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan yang menyatakan bahwa fly ash, sebagai material pozzolanik, mampu meningkatkan sifat mekanis beton, khususnya dalam hal kekuatan tekan (Fauzan et al., 2019). Namun, penting untuk dicatat bahwa penggantian fly ash harus tetap dalam batas tertentu untuk menghindari penurunan kekuatan (Bieliatynskyi et al., 2022; Ringu et al., 2023).

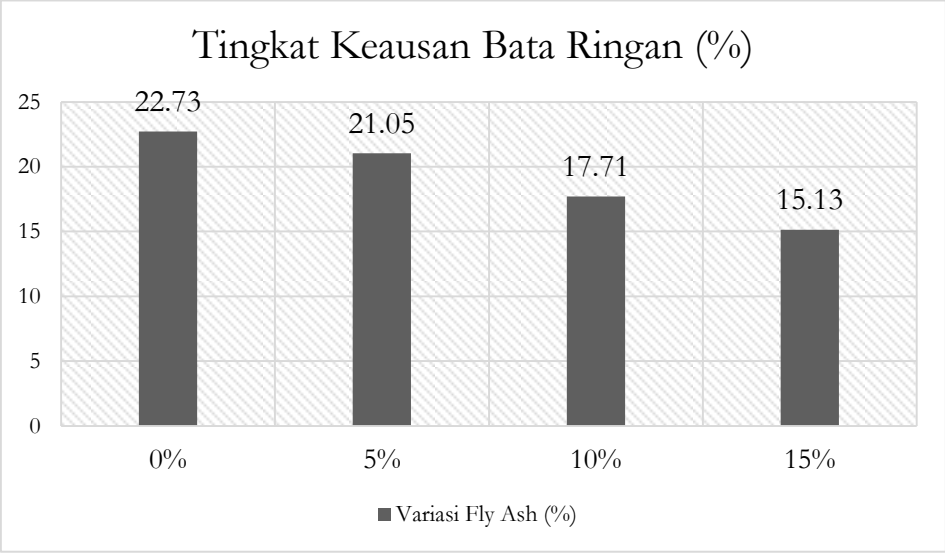
Uji keausan pada bata ringan merupakan metode penting untuk menilai ketahanan material terhadap aus akibat gesekan dan benturan selama penggunaan, terutama pada bagian bangunan yang sering terpapar aktivitas fisis dan kondisi lingkungan abrasif. Hasil dari pengujian ini membantu memperkirakan umur pakai bata; bata dengan nilai keausan rendah dianggap lebih awet dan tahan lama. Hal ini disebabkan oleh sifat material yang lebih padat dan tidak mudah terkikis (Tondok & Mastor, 2020). Penggunaan abu batu gamping dalam pembuatan bata ringan mempengaruhi berbagai parameter, termasuk daya tahan terhadap keausan (Putra et al., 2022). Berikut adalah hasil penelitian yang menunjukkan uji keausan atau abrasi dengan variasi penambahan *fly ash* pada kadar 0% hingga 15%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Keausan Bata Ringan dengan Penambahan Variasi *Fly Ash*

Variasi	Umur	Beban Basah (G)	Beban Kering (G)	Berat Setelah Abrasi (G)	Nilai Abrasi (%)
0%	28	310	166	120	22.73
		310	188		
		300	174		
5%	28	300	150	104	21.05
		290	167		
		300	177		
10%	28	300	178	96	17.71
		300	187		
		290	177		
15%	28	290	225	92	15.13
		280	209		
		290	174		

Sumber: Data Diolah (2025)

Tabel 4 menunjukkan bahwa semakin besar persentase fly ash yang digunakan, semakin rendah nilai keausan yang dihasilkan. Pada bata ringan tanpa fly ash (0%), nilai keausan rata-rata tercatat 22,73%, yang menandakan tingkat aus cukup tinggi. Ketika ditambahkan fly ash 5%, nilai keausan turun menjadi 21,05%, lalu menurun lebih jauh pada variasi 10% sebesar 17,71%, dan mencapai tingkat terendah pada campuran 15% dengan nilai 15,13%. Hasil ini memperlihatkan tren yang jelas bahwa penambahan fly ash mampu meningkatkan ketahanan bata ringan terhadap abrasi. Dengan kata lain, bata ringan berbasis fly ash tidak hanya lebih kuat, tetapi juga lebih tahan lama karena lebih sulit mengalami aus akibat gesekan atau benturan.



Gambar 3. Pengujian Tingkat Keausan Bata Ringan (%)

Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase fly ash yang digunakan dalam campuran bata ringan, semakin rendah nilai keausan yang dihasilkan. Contohnya, bata ringan tanpa fly ash (0%) mencatat nilai keausan rata-rata sebesar 22,73%, yang menunjukkan tingkat keausan yang cukup tinggi. Penambahan fly ash sebanyak 5% mengurangi nilai keausan menjadi 21,05%, dan lebih lanjut menurun menjadi 17,71% pada variasi 10%. Puncaknya terjadi pada campuran 15% di mana nilai keausan tercatat 15,13%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fly ash berkontribusi dalam meningkatkan ketahanan bata ringan terhadap abrasi, yang mendukung temuan bahwa fly ash dapat meningkatkan durabilitas dan ketahanan material terhadap pengaruh eksternal seperti gesekan

dan benturan (Deraman et al., 2016; Fauzan et al., 2019; Galupino & Dungca, 2023). Oleh karena itu, bata ringan yang menggunakan fly ash tidak hanya menunjukkan peningkatan kekuatan, tetapi juga dapat bertahan lebih lama dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap keausan (Liu et al., 2018; Zaetang et al., 2015).

Secara komparatif, ketiga hasil uji daya serap air, kuat tekan, dan keausan menunjukkan pola konsisten bahwa penambahan fly ash memperbaiki performa bata ringan. Dari sisi ketahanan air, fly ash menurunkan porositas sehingga mengurangi penyerapan kelembapan. Dari sisi kekuatan tekan, fly ash meningkatkan pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memperkuat matriks semen. Sementara dari sisi ketahanan aus, fly ash memperbaiki kepadatan material sehingga bata ringan lebih resisten terhadap abrasi. Hasil ini mempertegas peran fly ash sebagai material alternatif yang mampu meningkatkan durabilitas sekaligus memberikan solusi atas masalah limbah industri batu bara.

KESIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa penambahan fly ash pada bata ringan mampu meningkatkan kualitas material secara menyeluruh, baik dari aspek penurunan daya serap air, peningkatan kuat tekan, maupun ketahanan terhadap keausan. Temuan ini menegaskan bahwa fly ash tidak hanya berfungsi sebagai bahan pengganti semen untuk mengurangi emisi karbon, tetapi juga memberikan nilai tambah pada durabilitas material konstruksi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pembuktian empiris bahwa pemanfaatan limbah industri dapat diintegrasikan dalam teknologi konstruksi berkelanjutan tanpa mengorbankan kualitas teknis. Implikasi praktisnya adalah mendorong pemanfaatan fly ash secara lebih luas dalam industri bahan bangunan di Indonesia, sehingga dapat menekan masalah penumpukan limbah sekaligus mendukung agenda dekarbonisasi. Dari sisi pengembangan ilmu, studi ini memperkaya literatur dengan pendekatan komprehensif terhadap aspek durabilitas bata ringan berbasis fly ash, yang selama ini masih terbatas pada analisis kuat tekan dan densitas. Untuk riset lanjutan, perlu dilakukan kajian mengenai ketahanan bata ringan dalam kondisi ekstrem, seperti paparan lingkungan asam, siklus beku-cair, maupun uji jangka panjang, sehingga pemahaman mengenai kinerja material ini semakin mendalam dan aplikatif.

REFERENSI

Ahmad, S., Shah, M., Ullah, A., Shah, S., Rehan, M., Khan, I., … & Ahmad, M. (2021). Sustainable Use of Marble Waste in Industrial Production of Fired Clay Bricks and Its Employment for Treatment of Flue Gases. *Acs Omega, 6*(35), 22559-22569.

Almusaed, A., Yitmen, İ., & Almssad, A. (2024). Contemporary Innovations and Sustainable Practices in The Application of Clay Materials Within Architectural Design and Construction Methodologies. In *Developments in Clay Science and Construction Techniques*. London: IntechOpen Limited.

Ardana, P., Arini, R., & Priyana, Y. (2024). Analysis of The Effect of The Use of Environmentally Friendly Building Materials on The Stability of Tall Building Structures in Jakarta. *West Science Interdisciplinary Studies, 2*(04), 851-858.

Assi, L., Anay, R., Soltangharaei, V., & Ziehl, P. (2019). Effect Of Partial Portland Cement Replacement on Properties of Fly Ash Based Geopolymer Concrete. *5th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, 2*, 341-352.

Bieliatynskyi, A., Yang, S., Pershakov, V., Shao, M., & Ta, M. (2022). Development Of Building Materials Based on A High Content of Fly Ash and Polycondensation Products from Chinese Heat and Power Plants. *Materials Science-Poland, 40*(2), 270-288.

Chang, R. and Antwi-Afari, M. (2023). Critical Success Factors for Implementing 3d Printing Technology in Construction Projects: Academics and Construction Practitioners' Perspectives. *Construction Innovation, 25*(3), 843-866.

Citra, S., Wahyuni, W., Munawir, M., Vito, R., & Rais, T. (2023). Effect Of Mixing Anadara Granosa Shells Ash and Fly Ash as A Cement Replacement on Foamed Concrete Properties. *Key Engineering Materials, 943*, 233-240.

Cordoba, G. and Irassar, E. (2023). Carbon Footprint of Reinforced Concrete Columns with And Without Supplementary Cementitious Materials. *The International Journal of Life Cycle Assessment, 28*(7), 800-812.

Deraman, L., Abdullah, M., Yun-Ming, L., Kamarudin, H., & Yahya, Z. (2016). The Strength of Bottom Ash-Based Geopolymer Brick with Inclusion of Fly Ash. *Materials Science Forum, 841*, 26-29.

Fauzan, F., Kurniawan, R., N, C., N, O., & T, P. (2019). The Effects of Steel Fiber Waste Tyre on Properties of High Strength Fly Ash Concrete. *Matec Web of Conferences, 276*, 01008.

Félix, E. and Possan, E. (2018). Balance Emissions and Co2 Uptake in Concrete Structures: Simulation Based on The Cement Content and Type. *Revista Ibracon De Estruturas E Materiais, 11*(1), 135-162.

Galupino, J. and Dungca, J. (2023). Estimation Of Permeability of Soil-Fly Ash Mix Using Machine Learning Algorithms. Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES), 9, 28-33.

Góra, M., Bańkosz, M., & Tyliszczak, B. (2024). Use Of Innovative Methods to Produce Highly Insulating Walls Using 3D-Printing Technology. Materials, 17(16), 3990.

Gunasekara, C., Law, D., & Setunge, S. (2016). Long Term Engineering Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete. *4th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, 1*, 85-94.

Ibrahim, W., Kamarudin, H., Abdullah, M., Kadir, A., & Binhussain, M. (2015). Development Of Fly Ash-Based Geopolymer Lightweight Bricks Using Foaming Agent - A Review. *Key Engineering Materials, 660*, 9-16.

Ikhwanuddin, R. and Maryana, O. (2020). Studi Properti Fisis Dan Mekanis Bata Bakar Merah Dengan Aditif Limbah Vinyl Dan Abu Sekam Padi. *Jurnal Fisika Indonesia, 24*(3), 147.

Jamal, M., Tamrin, T., Sutanto, T., & Gusty, S. (2024). Analisis Fly Ash Tipe C Sebagai Aditif Terhadap Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Halus Samboja. *Dinamika Rekayasa, 20*(1), 29-37.

Jones, M., Ozlutas, K., & Zheng, L. (2017). High-Volume, Ultra-Low-Density Fly Ash Foamed Concrete. *Magazine of Concrete Research, 69*(22), 1146-1156.

Kamal, M. (2016). Recycling of Fly Ash as an Energy Efficient Building Material: A Sustainable Approach. *Key Engineering Materials, 692*, 54-65.

Kepli, M., Shek, P., Tahir, M., Sam, A., Lim, N., & Aminudin, E. (2022). Experimental Study on Compressive Strength of Interlocking Hollow Block System (IHBS) Using Fly Ash. *E3s Web of Conferences, 347*, 02008.

Kioumarsi, M. and Plevris, V. (2024). Advanced Concrete and Construction Materials for Sustainable Structures. *Sustainability, 16*(4), 1427.

Liu, H., Luo, G., Wang, L., & Gong, Y. (2018). Strength Time–Varying and Freeze–Thaw Durability of Sustainable Pervious Concrete Pavement Material Containing Waste Fly Ash. *Sustainability, 11*(1), 176.

Mahmood, E., Basher, M., & Agha, A. (2018). Effects Of Fly Ash as a Sustainable Material on Lightweight Foamed Concrete Mixes. *Journal of Engineering and Sustainable Development, 22*(02), 108-124.

Meliyana, M., Rahmawati, C., & Handayani, L. (2019). Sintesis Silika Dari Abu Sekam Padi Dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik Bata Ringan. *Elkawnie, 5*(2), 164.

Nuaklong, P., Wongsa, A., Sata, V., Boonserm, K., Sanjayan, J., & Chindaprasirt, P. (2019). Properties Of High-Calcium and Low-Calcium Fly Ash Combination Geopolymer Mortar Containing Recycled Aggregate. *Heliyon, 5*(9), e02513.

Posedung, A., Phengkarsa, F., & Sandy, D. (2020). Pemanfaatan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kekuatan Beton. *Paulus Civil Engineering Journal, 2*(3), 187-195.

Purba, T., Fikriyah, V., Maulina, D., Sholeh, A., Bowo, R., & Utama, W. (2021). Analisis Tingkat Kecocokan Penggunaan Batu Bata Putih Sebagai Bahan Dasar Pembangunan Selokan Menggunakan Konfigurasi Wenner. *Jurnal Geosaintek, 7*(2), 65.

Putra, R., Suryanita, R., & Maizir, H. (2022). Analisis Kuat Tekan Dan Workability Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete Dengan Bahan Tambah Substitusi Semen. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering, 2*(01), 34-46.

Rahmayanti, R., Bahar, 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.

Ringu, A., Andreas, E., Antoni, A., & Hardjito, D. (2023). The Impact of Calcium Hydroxide Addition on HVFA Mortar and Concrete Properties. *E3s Web of Conferences, 429*, 05032.

Romanova, E. (2016). Studying of Innovative Qualities at Experts in The Field of Production and Use of Eco-Friendly Construction Materials. *Materials Science Forum, 871*, 132-137.

Sofyan, M. (2021). Kekuatan Awal, Workability Dan Berat Volume Beton Berbahan Agregat Plastik Polypropylene. *Kilat, 10*(2), 301-308.

Sriprasertsuk, S., Suwannason, P., & Saengchantara, W. (2016). Effect Of Borax on Lightweight Material from Cullet and Fly Ash. *Key Engineering Materials, 690*, 109-113.

Sultan, M., Imran, I., & faujan, m. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batubara (Fly Ash) Ex Pltu Rum Pada Campuran Beton. *Teras Jurnal Jurnal Teknik Sipil, 9*(2), 83.

Suryani, F., Rizal, S., Abdullah, A., & Isya, M. (2023). Fly Ash Substitution in Lightweight Concrete for Rigid Pavement Construction on Low-Bearing-Capacity Soil. *Sustainability, 15*(21), 15239.

Tondok, D. and Mastor, R. (2020). Penggunaan abu batu gamping sebagai bahan pembuatan bata ringan. *Paulus Civil Engineering Journal, 1*(1), 34-40.

Triana, D. (2023). Utilization of Fly Ash in Construction Materials: Review. *Fondasi Jurnal Teknik Sipil, 12*(2), 302.

Umar, A. and Trimurtiningrum, R. (2023). Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Karakteristik Fisik dan Mekanik Beton. *Journal of Scientech Research and Development, 5*(2), 580-591.

Yu, R., Onna, D., Spiesz, P., Yu, Q., & Brouwers, H. (2016). Development of Ultra-Lightweight Fibre Reinforced Concrete Applying Expanded Waste Glass. *Journal of Cleaner Production, 112*, 690-701.

Yusra, A., Aulia, T., & Jufriadi, J. (2018). Pengaruh Bahan Tambah Fly Ash Batu Bara Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi, 1*(1).

Zaetang, Y., Wongsa, A., Sata, V., & Chindaprasirt, P. (2015). Use Of Coal Ash as Geopolymer Binder and Coarse Aggregate in Pervious Concrete. *Construction and Building Materials, 96*, 289-295.