EISSN: 2528 - 0112

JURNAL VIRTUAL OF MECHANICAL ENGINEERING ARTICLE (V-MAC)

https://ejournal.unibabwi.ac.id/index.php/vmac email: vmac.mesin@gmail.com

Pengaruh Penambahan Serbuk Kulit Kerang terhadap Karakteristik Fisik dan Mekanik Bata Ringan

Febi Kurniawan[1], Gatut Rubiono[2], Ikhwanul Qiram[3]
[1]Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, febrykurniawan23@gmail.com
[2]Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, grubionov@gmail.com
[3]Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, ikhwanulqiram@gmail.com

Corresponding Author: ikhwanulqiram@gmail.com

Abstract: *This study aims to investigate the effect of adding seashell powder on the mechanical strength of lightweight bricks. Seashell powder was utilized as a partial substitute for кβaptz sand to reduce its usage in the brick mixture. The research employed an experimental method with three particle size variations obtained using sieves of 40, 50, and 60 mesh. The mixture composition of seashell powder was divided into two types: C_1 (40%) and C_2 (30%) of the total mixture weight. Specimens were prepared using molds measuring 12.7 × 25.4 mm and compacted with a hydraulic press at a pressure of 100 kg/cm². Data analysis included compressive strength, water absorption, and surface visualization. The results indicate that variations in the proportion and particle size of seashell powder significantly affect the mechanical properties of lightweight bricks. The lowest load-bearing capacity was observed in the C_2 sample with 40 mesh size, reaching 343.23 N, while the highest was found in the C_1 sample with 60 mesh size, reaching 1162.09 N. In addition, the mixture ratio influenced the water absorption characteristics of the material. This was evidenced by the difference in weight before and after immersion for 5 minutes. The highest weight gain was recorded in the C_2 sample at 18.46 g, whereas the lowest was in the C_1 sample at 3.12 g. These findings confirm that both composition and particle size of seashell powder play a critical role in determining the performance of lightweight bricks.*

Keyword: *Seashell powder, lightweight bricks, compressive strength, water absorption, particle size.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh penambahan bubuk cangkang kerang terhadap kekuatan mekanik bata ringan. Bubuk cangkang kerang digunakan sebagai pengganti sebagian pasir kuarsa untuk mengurangi penggunaannya dalam campuran bata. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tiga variasi ukuran partikel yang diperoleh menggunakan ayakan 40, 50, dan 60 mesh. Komposisi campuran bubuk cangkang kerang dibagi menjadi dua jenis: C_1 (40%) dan C_2 (30%) dari total berat campuran. Spesimen disiapkan menggunakan cetakan berukuran 12,7 × 25,4 mm dan dipadatkan dengan mesin pres hidrolik pada tekanan 100 kg/cm². Analisis data meliputi kekuatan tekan, penyerapan air, dan

visualisasi permukaan. Hasil menunjukkan bahwa variasi proporsi dan ukuran partikel bubuk cangkang kerang secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik bata ringan. Kapasitas daya dukung beban terendah diamati pada sampel C_2 dengan ukuran mesh 40, mencapai 343,23 N, sedangkan yang tertinggi ditemukan pada sampel C_1 dengan ukuran mesh 60, mencapai 1162,09 N. Selain itu, rasio campuran memengaruhi karakteristik penyerapan air material. Hal ini dibuktikan dengan perbedaan berat sebelum dan sesudah perendaman selama 5 menit. Peningkatan berat tertinggi tercatat pada sampel C_2 sebesar 18,46 gram, sedangkan yang terendah pada sampel C_1 sebesar 3,12 g. Temuan ini menegaskan bahwa komposisi dan ukuran partikel bubuk cangkang kerang memainkan peran penting dalam menentukan kinerja bata ringan.

Kata Kunci: *Bubuk cangkang kerang, batu bata ringan, kekuatan tekan, penyerapan air, ukuran partikel.*

1. PENDAHULUAN

Bata ringan adalah batu bata yang memiliki berat jenis lebih ringan dari pada bata pada umumnya. Bata ringan dibuat dengan menggunakan bahan aditif, seperti bubuk alumina yang memproduksi gas saat beton masih keadaan plastis atau dengan menggunakan agregat yang memiliki densitas kecil, misalnya batu apung, abu vulkanik, dan batuan diatomit yang merupakan agregat alam yang banyak digunakan bahan-bahan sisa seperti *fly-ash*. Berat bata ringan memiliki berat berkisar antara 600-1800 kg/m^3 dan memiliki kekuatan tekan antara 1 Mpa sampai 15 Mpa. Bata ringan digunakan pada proyek bangunan tinggi (*high rise building*) yang secara signifikan dapat mengurangi berat bangunan itu sendiri [1].

Salah satu jenis bata ringan yang beredar di pasaran adalah bata ringan *Celullar Lightweight Concrete* (CLC). Bata ringan CLC adalah beton berpori yang mengalami proses curing secara alamiah. Komposisi bata ringan CLC antara lain: pasir, semen, air, dan foaming agent [2]. Dalam prosesnya bata ringan CLC menggunakan busa organik yang dihasilkan dari bahan tambahan *Foam Agent*. Busa ini berfungsi sebagai media pembungkus udara, sehingga menghasilkan pori dan membuat bata lebih ringan. Selain CLC, juga terdapat bata ringan AAC. Bata ringan jenis ini melibatkan proses pemubuatan gelembung udara yang disebabkan oleh reaksi kimia alumunium pasta seperti pada pembuatan roti saat penambahan bahan ragi untuk pengembang adonan [3]. Bahan alumunium pasta tadi berfungsi juga sebagai pengeras beton. Volume alumunium pasta ini yaitu sebanyak 5-8% dari volume adonan yang akan dibuat [4]. Komposisi campuran semen, pasir, *foam agent* digunakan sesuai SOP dalam produksi bata ringan CLC PT. BrikKoe Jaya Perkasa [5].

Banyak penelitian telah menginvestigasi pengaruh komposisi dan jenis bahan campuran terhadap sifat dan karakteristik mekanis pada bata ringan, seperti penggunaan *green material* [6], limbah plastik [7], dan abu batu [8]., namun belum banyak penelitian yang mengkaji pemanfaatan efek ukuran pratikel serbuk dan rasio campuran limbah cangkang kerang sebagai material tambahan pada produk bata ringan. Keberadaan limbah ini dapat menjadi alternatif yang memberikan nilai tambah pada limbah produksi makanan kerang. Penggunaan limbah cangkang kerang tentunya tetap memperhatikan nilai indeks plastisitas, sehingga dapat memberikan alternatif untuk memanfaatkan limbah-limbah yang tidak bermanfaat. Cangkang kerang mengandung senyawa kimia yang bersifat *pozzolan* yaitu mengandung zat kapur (CaO), alumina dan senyawa silika sehingga sesuai digunakan sebagai bahan baku untuk Indeks plastisitas [4].

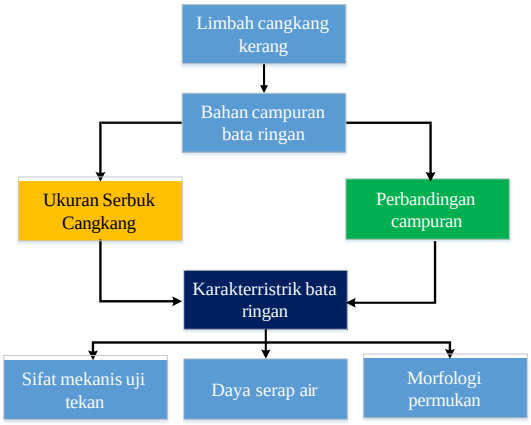
Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan serbuk kulit kerang sebagai material konstruksi memiliki potensi signifikan namun bergantung pada komposisi dan metode pengolahannya. Studi oleh Sangeetha et al. (2022) melaporkan bahwa substitusi parsial semen dan agregat dengan limbah kulit kerang mampu meningkatkan kuat tekan hingga 30% pada

umur tertentu, dengan komposisi optimum sekitar 5–15% . Penelitian lain pada beton performa tinggi menunjukkan bahwa penambahan serbuk kulit kerang cenderung menurunkan kuat tekan pada kadar tinggi, namun kombinasi dengan nano-silika dapat meningkatkan kekuatan hingga 5–6% serta memperbaiki durabilitas material [9]. Selanjutnya, studi pada bata tanah terkompresi dan bata laterit tanpa pembakaran menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kulit kerang dapat meningkatkan sifat termal dan memberikan performa mekanik yang cukup baik, terutama ketika dikombinasikan dengan bahan limbah lain seperti abu biomassa. Peningkatan kadar serbuk kulit kerang secara signifikan justru menurunkan kuat tekan, sehingga penggunaannya harus dibatasi pada persentase tertentu agar tetap memenuhi standar struktural [10].

Pembahasan variabel penelitian pada pemanfaatan serbuk kulit kerang dalam bata ringan dapat difokuskan pada tiga parameter utama, yaitu ukuran partikel, rasio, serta parameter daya serap air. Ukuran partikel serbuk diduga memiliki pengaruh langsung terhadap kerapatan struktur mikro material. Semakin halus ukuran partikel, maka distribusi partikel dalam matriks akan semakin merata dan mampu mengisi rongga antar butiran (*filler effect*), sehingga meningkatkan densitas dan berpotensi meningkatkan kuat tekan. Sebaliknya, partikel yang lebih kasar cenderung menghasilkan rongga yang lebih besar sehingga menurunkan kekuatan mekanik. Penggunaan variasi ukuran mesh dan komposisi spesifik pada bata ringan secara simultan karakteristik mekanik, daya serap air, dan morfologi permukaan, masih jarang dikaji oleh penelitian sebelumnya. Penggunaan serbuk kulit kerang dengan ukuran partikel yang lebih halus dan komposisi yang optimal diduga mampu menurunkan porositas karena rongga antar partikel terisi lebih baik. Sebaliknya, komposisi yang tidak seimbang atau ukuran partikel yang terlalu kasar akan meningkatkan jumlah pori terbuka, sehingga meningkatkan daya serap air dan menurunkan kualitas mekanik bata ringan. Berdasarkan uraian tersebut, maka perlu adanya penelitian tentang bata ringan dengan campuran kulit cangkang kerang.

2. METODE

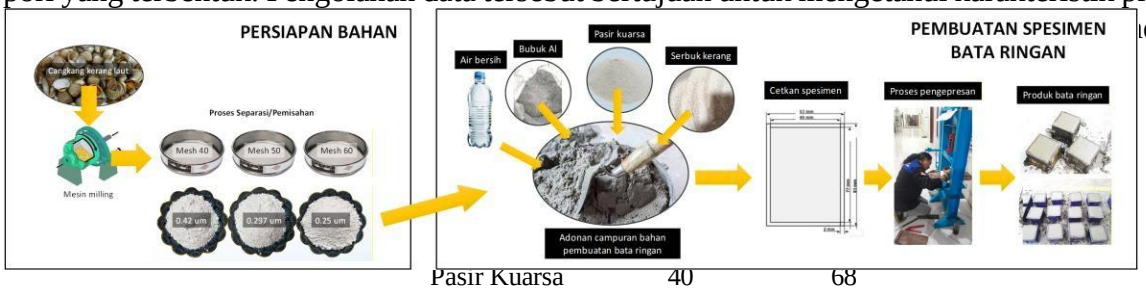
Teknologi bata ringan berbahan campuran serbuk cangkang kerang merupakan alternatif pengganti material bahan dalam menghasilkan produk limbah yang memiliki nilai tambah. Dengan mengubah ukuran serbuk cangkang kerang, perbandingan campuran bahan, diduga akan mempengaruhi kualitas produk bata ringan. Uji kuat tekan, serapan air, dan morofologi fisik produk bata ringan manjadi parameter penting dalam mendapatkan karakteristik produk hasil penelitian ini.



Gambar 1. Kerangka konsep penelitian
Sumber: Hasil Riset, 2025

Langkah berikutnya adalah pengumpulan bahan dan peralatan penelitian yang dilanjutkan dengan proses pembuatan bahan. Bahan yang digunakan merupakan limbah cangkang kerang jenis campuran yang banyak terdapat di pesisir pantai atau limbah dari restoran *seafood*. Hasil pembuatan bata ringan selanjutnya diuji kekuatan mekaniknya, serapan air bahan, dan struktur

pori yang terbentuk. Pengolahan data tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik produk ...dalah



	Pasir Kuarsa	40	68
	Serbuk Kerang	40	68
Total			**170**
C2	Pasta	5	8,5
	Semen putih	15	25,5
	Pasir Kuarsa	50	85
	Serbuk Kerang	30	51
Total			**170**

Sumber: Data riset, 2026

Adapun alur pembuatan spesimen dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. Alur pembuatan spesimen penelitian
Sumber: Hasil Riset, 2025

Tahap selanjutnya, masing-masing sepsimen yang telah dibuat dilakukan. Pengujian tekan menggunakan ASTM D 695-96 bertujuan untuk mengetahui kekuatan tekan pada produk bata ringan. Uji daya serap air juga dilakukan dengan metode perendaman produk selama 1 jam pada air bersih. Daya serap dihitung berdasaarkan perbedaan massa produk sebelum dan sesudah perendaman air. Selain itu, morfologi permukaan spesimen juga dilakukan menggunakan mikroskop digital 1600x zoom, dimensi spesimen 12,7 x 9,53 mm untuk selanjutnya dilakukan analisis pori menggunakan software Image-J. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan dimensi mikro pori pada benda uji untuk setiap variasi sampel bata ringan.

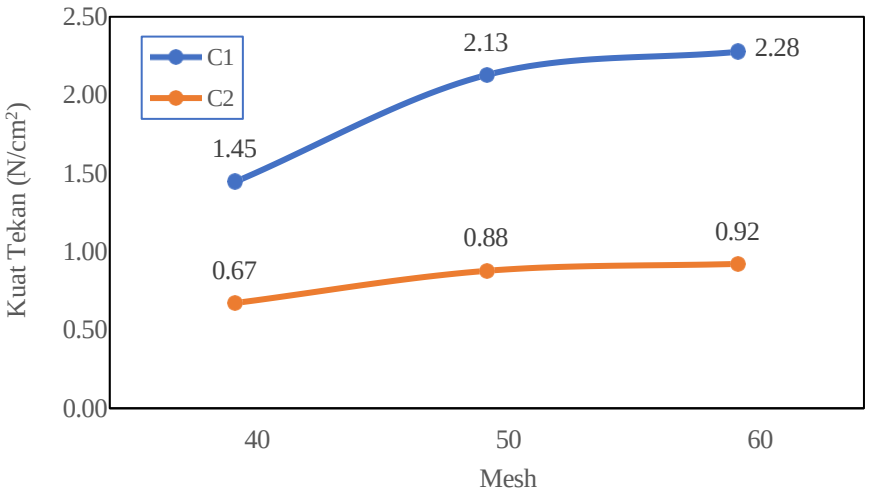
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbedan ukuran dan rasio campuran bahan berpengaruh terhadap kuat tekan serta kemampuan serap air pada spesimen bata ringan, hal ini sebagaimana ditunjukkan melalui Tabel 2 dan 3. Berikut ini.

Tabel 2. Data hasil uji tekan bata ringan

Spesimen	*Mesh*	*MMax (Newton)*	*A (cm^2)*	*P (N/cm^2)*
C1	40	738,44	510,45	1,45
	50	1086,58	510,45	2,13
	60	1162,09	510,45	2,28
C2	40	343,23	510,45	0,67
	50	448,16	510,45	0,88
	60	470,72	510,45	0,92

Sumber: Data riset, 2026



Gambar 3. Grafik laju serap air bata ringan
Sumber: Hasil Riset, 2025

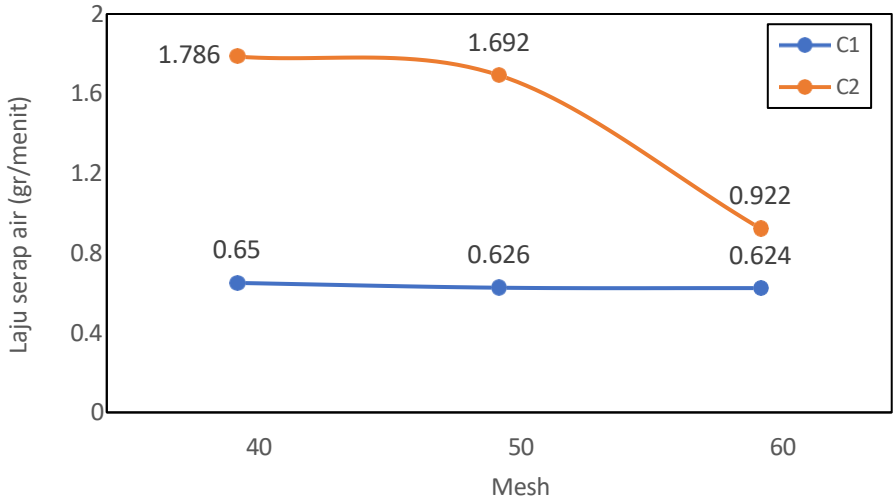
Hasil uji kuat tekan bata ringan dengan campuran serbuk kerang menunjukkan bahwa rasio bahan dan ukuran mesh berpengaruh signifikan terhadap kekuatan material. Pada rasio C_1, beban maksimum meningkat seiring dengan pengecilan ukuran mesh, yaitu dari 738,44 N pada mesh 40, dan 1.162,09 N pada mesh 60 (lihat Gambar 3). Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Suryani et al. (2020) [11] yang menyatakan bahwa semakin halus ukuran partikel filler, distribusi material dalam matriks lebih homogen, sehingga meningkatkan kekuatan tekan. Namun, pada rasio C_2, nilai kuat tekan lebih rendah meskipun menunjukkan tren peningkatan serupa, yakni dari 343,23 N pada mesh 40 menjadi 470,72 N mesh 60. Perbedaan ini dipengaruhi oleh komposisi pengikat atau kadar serbuk kerang yang memengaruhi densitas dan porositas bata, sebagaimana diungkapkan oleh [12], [13] bahwa rasio bahan tambahan yang tidak optimal dapat mengurangi kekuatan mekanik.

Hasil uji kuat tekan bata ringan menunjukkan bahwa serbuk kerang berpotensi sebagai bahan tambahan dalam bata ringan, terutama dengan pengaturan ukuran partikel dan komposisi yang tepat. Peningkatan kekuatan tekan pada serbuk yang lebih halus sebagaimana pada peneltian [14], bahwa partikel kecil meningkatkan luas permukaan ikatan dengan matriks semen. Namun, rendahnya nilai pada C_2 menggambarkan bahwa perlu dilakukan optimasi rasio campuran untuk meminimalkan kelemahan struktur. Selain itu, perbedaan ukuran partikel serbuk kerang dan rasio campuran juga berimpliksi pada ukuran pori permukaan dan daya serap air spesimen bata ringan sebagaimana ditunjukkan melalui Tabel 3 dan Gambar 4 sebagai berikut.

Tabel 3. Data hasil uji serap air bata ringan

Spesimen	*Mesh*	*Berat Sampel (gram)*		*Selisih berat (gram)*
		Sebelum	*Sesudah*	
C1	40	23,26	26,51	3,25
	50	19,6	22,73	3,13
	60	25,34	28,46	3,12
C2	40	28,81	37,74	8,93
	50	24,94	33,4	8,46
	60	16,28	20,89	4,61

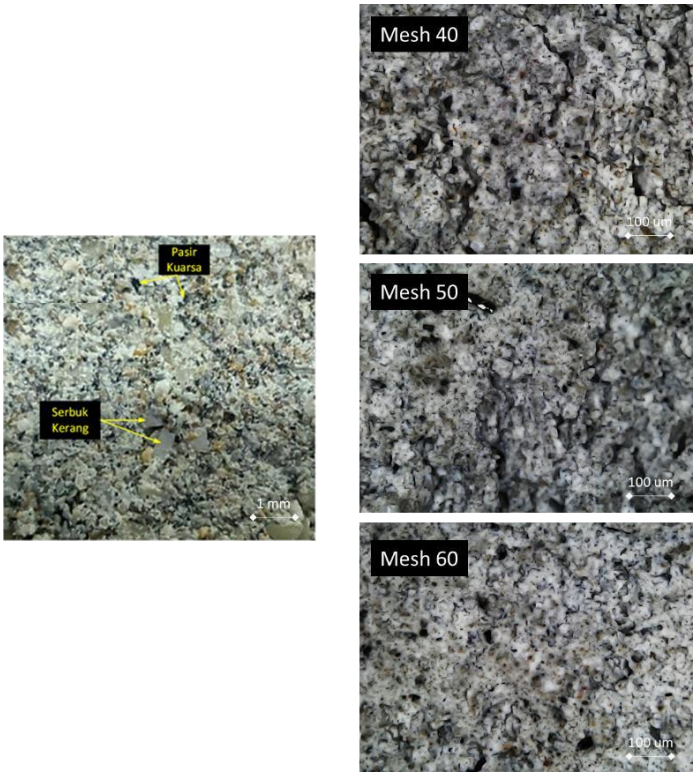
Sumber: Data riset, 2025



Gambar 4. Grafik laju serap air bata ringan
Sumber: Hasil Riset, 2025

Hasil uji serap air pada bata ringan campuran serbuk kerang menunjukkan [13] serbuk kerang lebih rendah seperti pada rasio C_1, menunjukkan bahwa laju serap air cenderung stabil dengan nilai berkisar antara 0,624 - 0,65 gram/menit. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk kerang dalam jumlah sedikit tidak secara signifikan memengaruhi porositas bata ringan. Sejalan dengan penelitian oleh Zhang et al. (2020) [15] yang menyatakan bahwa bahan tambahan dengan kadar rendah cenderung tidak mengubah struktur mikro material secara drastis. Sementara itu, pada rasio C_2 dengan kandungan serbuk kerang lebih tinggi, laju serap air lebih bervariasi, terutama pada mesh 40 dan 50 yang mencapai 1,786 gram/menit dan 1,692 gram/menit, namun turun menjadi 0,922 gram/menit pada mesh 60. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel serbuk kerang juga berperan penting dalam menentukan kemampuan serapan air, di mana partikel yang lebih halus dapat mengurangi porositas material [16].

Perbedaan laju serap air antara C_1 dan C_2 juga mengindikasikan bahwa peningkatan kandungan serbuk kerang dapat meningkatkan porositas bata ringan jika ukuran partikelnya lebih besar. Namun, ketika partikel lebih halus seperti pada mesh 40 dan 60 (lihat Gambar 5), porositas justru menurun karena partikel halus dapat mengisi rongga antar-agregat. Seperti pada penelitian Wang dan Chen (2021) [17] yang menyatakan bahwa, distribusi ukuran partikel berpengaruh terhadap densitas dan permeabilitas material. Berdasarkan kondisi tersebut, optimasi rasio bahan dan ukuran mesh diperlukan untuk menghasilkan bata ringan dengan daya serap air yang sesuai untuk aplikasi konstruksi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji pengaruh variasi kadar serbuk kerang dan perlakuan permukaan terhadap kinerja bata ringan dalam kondisi lingkungan nyata.



Gambar 5. Tampilan morfologi permukaan spesimen dengan
Sumber: Hasil Riset, 2025

Sebagaimana ditunjukkan melalui Gambar 5, terlihat bahwa ukuran partikel serbuk kerang pada Gambar 5 sampel Mesh 40, menunjukkan pori-pori yang relatif besar dan distribusi yang tidak merata. Struktur pori-pori ini berkontribusi pada tingginya serap air seperti yang diamati pada uji sebelumnya (lihat Tabel 3). Pada penelitian oleh Zhang et al. (2020) disebutkan bahwa partikel berukuran besar cenderung meninggalkan rongga lebih banyak, sehingga meningkatkan porositas material. Sebaliknya, pada sampel Mesh 60, morfologi permukaan terlihat lebih padat dengan pori-pori yang lebih kecil dan homogen, menunjukkan bahwa partikel halus mampu mengisi rongga antar-agregat dan mengurangi permeabilitas. Perbandingan antara ketiga variasi mesh pada rasio C_1 juga mengungkapkan bahwa semakin halus ukuran partikel serbuk kerang, semakin baik distribusi dan adhesinya dalam matriks bata ringan. Hasil ini sejalan dengan temuan Li et al. (2019) yang menjelaskan bahwa partikel halus dapat meningkatkan densitas material karena kemampuan pengisian rongga yang lebih efektif Analisis morfologi permukaan bata ringan campuran serbuk kerang variasi Mesh 40 menunjukkan adanya interaksi antara pasir kuarsa dan serbuk kerang dalam membentuk struktur material. Pada pengamatan mikroskopis, terlihat bahwa partikel serbuk kerang cenderung terdistribusi secara tidak merata dalam matriks pasir kuarsa, menciptakan area dengan porositas yang bervariasi. Partikel berbasis kalsium karbonat seperti serbuk kerang sering mengalami segregasi saat dicampur dengan material silika seperti pasir kuarsa, terutama ketika ukuran partikel tidak homogeny [12]. Distribusi yang tidak merata ini dapat menjelaskan variasi dalam sifat mekanik dan daya serap air yang diamati pada penelitian sebelumnya.

Seperti terlihat pada Gambar 5. permukaan sampel bata ringan memperlihatkan adanya rongga-rongga mikro di sekitar area dimana serbuk kerang terkonsentrasi. Fenomena ini diduga terjadi karena perbedaan densitas dan sifat adhesi antara serbuk kerang dan pasir kuarsa. Penelitian oleh Awalludin et al. (2019) [18] menyatakan bahwa material berbasis cangkang kerang cenderung membentuk ikatan yang lebih lemah dengan matriks silika dibandingkan dengan material pozzolanik lainnya. Hal ini menyebabkan terbentuknya zona-zona lemah pada antarmuka antara serbuk kerang dan pasir kuarsa, yang dapat mempengaruhi kekuatan tekan

dan durabilitas bata ringan secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel serbuk kerang dan rasio campuran memiliki pengaruh signifikan terhadap kuat tekan bata ringan. Partikel serbuk kerang berukuran mesh 60 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, yaitu sebesar 1.162,09 N pada komposisi C_1. Sebaliknya, pada rasio C_2 dengan kandungan serbuk kerang yang lebih tinggi, nilai kuat tekan cenderung menurun, yaitu sebesar 470,72 N pada ukuran mesh yang sama. Selain itu, ukuran partikel dan rasio campuran juga mempengaruhi laju serap air pada sampel. Rasio C_1 dengan kadar serbuk kerang yang lebih rendah menunjukkan laju serap air yang lebih kecil, berkisar antara 0,624–0,65 gram/menit, sedangkan rasio C_2 dengan kadar serbuk kerang lebih tinggi memiliki laju serap air yang lebih besar, yaitu antara 0,922–1,786 gram/menit. Hasil analisis morfologi menunjukkan bahwa partikel serbuk kerang berukuran mesh 40 cenderung menghasilkan pori- pori yang tidak merata sehingga meningkatkan porositas material, sementara penggunaan partikel berukuran mesh 60 menghasilkan struktur yang lebih padat dengan distribusi pori-pori yang lebih kecil dan merata.

REFERENSI

[1] D. Behera, K. Liu, F. Rachman, and A. Worku, "Innovations and Applications in Lightweight Concrete: Review of Current Practices and Future Directions," *Buildings*, vol. 15, Jun. 2025, doi: 10.3390/buildings15122113.

[2] J. J. S. P. C. I. R. D. A. T. Sina, "Tata Cara Rancangan Campur untuk Membuat Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC)," *J. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 15–28, 2023.

[3] S. K. Adhikary *et al.*, "Lightweight self-compacting concrete: A review," *Resour. Conserv. Recycl. Adv.*, vol. 15, p. 200107, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200107.

[4] P. Prapto and B. Haryadi, "Studi Perbandingan Biaya per 1 m2 Pekerjaan Pasangan Dinding Bata Ringan dengan Pasangan Bata Merah," *INERSIA*, vol. 8, no. 1, pp. 27–40, 2020.

[5] K. S. Elango, J. Sanfeer, R. Gopi, A. Shalini, R. Saravanakumar, and L. Prabhu, "Properties of light weight concrete – A state of the art review," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 4059–4062, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.571.

[6] Winoto Hadi and H. D. Windayati, "Analisisa Campuran Green Material Sebagai Alternatif Pembuatan Bata Ringan untuk Pekerjaan Dinding," *INFOMANPRO*, vol. 12, no. 1, pp. 31–40, 2023.

[7] K. R. Fevandha Claudhio Putra, A.G Tamrin, "Pengaruh Penggantian Sebagian Agregat Halus dengan Limbah Plastik Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan dan Nilai Ekonomis pada Bata Ringan," *IJCEE*, vol. 9, no. 2, 2023, [Online]. Available: https://jurnal.uns.ac.id/ijcee/article/view/83608/43864

[8] N. Y. Syakban, "Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Karakteristik Bata Ringan," Universitas Islam Indonesia, 2024.

[9] P. Sangeetha et al., "Mechanical properties of concrete with seashell powder replacement," in *Materials Today: Proceedings*, 2022, pp. 320–326. doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.501.

[10] M. A. Islam et al., "Enhancement of concrete properties using seashell powder and nano- silica," *Results Mater.*, vol. 15, 2022.

[11] G.-T. E. Alcala-Gonzalez D, Mateo LF, Quijano MÁ, Más-López MI, "Compressive Strength-Based Classification of Eco-Friendly Concretes Using Machine Learning Models," *Materials (Basel).*, vol. 18, no. 23, p. 5344, 2025.

[12] K. Boudjellal, "Formulation of a Concrete Based on Grinded Seashells as Partial Substitution for Sand," *Civ. Environ. Eng. Reports*, vol. 30, no. 4, pp. 56–71, 2020, doi: https://doi.org/10.2478/ceer-2020-0050.
[13] L. Zhang, "Optimization of Lightweight Brick Composition Using Shell Waste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 8, no. 2, pp. 118–123, 2019.
[14] E. Aprianti, "The Role of Fine Aggregates in Enhancing Mechanical Properties of Composite Bricks.," *Adv. Mater. Res.*, vol. 478, p. 141412, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141412.
[15] R. Zhang, "Microstructural analysis of lightweight composites with low additive content," *Mater. Today Commun.*, vol. 24, p. 101123, 2023.
[16] T. S. DS Devi, M Fauzi, "Sifat mekanik beton dengan pemanfaatan serbuk cangkang kerang dan serbuk kaca," *JMTS*, vol. 8, no. 2, pp. 507–516, 2025.
[17] B. H. Ngayakamo, "Development of eco-friendly fired clay bricks incorporated with granite and eggshell wastes," *Environ. Challenges*, vol. 1, p. 100006, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100006.
[18] M. F. Awalludin, "Interfacial properties of silica-based composites with bio-calcium carbonate additives. Construction and Building Materials, 210, 165-174.," 2021.