

Studi Eksperimental Pengaruh Nano Silika Sebagai Pengisi Untuk Peningkatan Daya Tahan dan Serapan Air Pada Bata Ringan

Nurul Fatimah Wahyuddin*, Mustakim, Kasmaida

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Sulawesi Selatan

*Koresponden email: nfatimahwahyuddin@gmail.com

Diterima: 27 Agustus 2025

Disetujui: 11 September 2025

Abstract

The increasing need for efficient, durable, and environmentally friendly construction materials has driven innovation in the development of lightweight bricks, especially Cellular Lightweight Concrete (CLC). However, in areas with high humidity, lightweight bricks are susceptible to excessive water absorption, which can accelerate the deterioration of building structures. To overcome this, additional materials are needed that can increase durability while reducing the level of water absorption in lightweight bricks. This study aims to determine the effect of adding Nano Silica on the compressive strength and water absorption of lightweight bricks. The method used is quantitative with experimental techniques. This study used variations of Nano Silica of 0%, 3%, 6%, and 9% with a 28-day test. The results showed that the addition of 3% nano silica produced the highest compressive strength, which was 8.85 MPa, compared to normal lightweight bricks which only reached 5.50 MPa. However, at concentrations of 6% and 9%, the compressive strength decreased to 7.35 MPa and 4.15 MPa. Meanwhile, the results of the water absorption test also showed a significant decrease, from 19.29% in normal bricks to 9.74% in the 9% nano-silica variation. Therefore, it can be concluded that nano-silica can effectively increase durability and reduce water absorption in lightweight bricks, with special attention to the optimal concentration to maintain mechanical quality.

Keywords: *lightweight brick, clc, absorption, compressive strength, nano silica*

Abstrak

Peningkatan kebutuhan akan material konstruksi yang efisien, tahan lama, dan ramah lingkungan mendorong inovasi dalam pengembangan bata ringan, khususnya jenis *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Namun, di daerah dengan kelembapan tinggi, bata ringan rentan terhadap penyerapan air yang berlebihan, sehingga dapat mempercepat kerusakan struktur bangunan. Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan material tambahan yang mampu meningkatkan daya tahan sekaligus mengurangi tingkat serapan air pada bata ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Nano Silika terhadap kuat tekan dan daya serap air pada bata ringan. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan teknik eksperimental. Penelitian ini menggunakan variasi Nano Silika sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9% dengan pengujian 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nano silika sebesar 3% menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu 8,85 MPa, dibandingkan dengan bata ringan normal yang hanya mencapai 5,50 MPa. Namun, pada konsentrasi 6% dan 9%, kuat tekan menurun menjadi 7,35 MPa dan 4,15 MPa. Sedangkan hasil dari pengujian daya serap air juga menghasilkan penurunan signifikan, dari 19,29% pada bata normal menjadi 9,74% pada variasi 9% nano silika. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nano silika dapat secara efektif meningkatkan daya tahan dan mengurangi serapan air pada bata ringan, dengan perhatian khusus pada konsentrasi optimal untuk mempertahankan kualitas mekanik.

Keywords: *bata ringan, clc, daya serap, kuat tekan, nano silika*

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur di Indonesia bergerak seiring kemajuan teknologi dan tuntutan keberlanjutan, sehingga mendorong kebutuhan material bangunan yang ringan, efisien energi, tahan lama, dan ramah lingkungan. Bata ringan, khususnya *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC), terus menarik minat perencana karena kemudahan pemasangan, bobot rendah, serta kinerja termal yang baik [1]. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis lebih ringan dari beton pada umumnya, sehingga sangat relevan digunakan pada konstruksi yang membutuhkan efisiensi beban tanpa mengorbankan kinerja struktural [2]. Namun, pada wilayah berkelembapan tinggi, serapan air yang berlebih dapat mempercepat degradasi, menurunkan kekuatan, dan memicu kerusakan dini komponen dinding [3]. Di sisi lain, dampak produksi semen terhadap emisi karbon dioksida tetap signifikan sehingga upaya pengurangan *clinker* melalui bahan tambah reaktif menjadi semakin urgen dalam horizon keberlanjutan industri konstruksi

[4]. Dalam konteks tersebut, penelitian mengenai optimasi mikrostruktur bata ringan CLC melalui rekayasa campuran berbasis material aditif berukuran nano menjadi relevan baik secara teknis maupun ekologis.

Salah satu kandidat kuat ialah nano silika, partikel SiO₂ berukuran sangat halus yang berperan sebagai pengisi sekaligus pozzolan, sehingga mampu memperhalus pori, meningkatkan densifikasi pasta, memperbaiki transisi ITZ, menurunkan permeabilitas, dan pada kadar optimum meningkatkan kuat tekan [5]. Kajian mutakhir menegaskan bahwa nano silika memodifikasi kinetika hidrasi dan struktur gel C-S-H, sehingga memperbaiki sifat mekanik dan durabilitas komposit semen, meski memberi respons yang nonlinier terhadap variasi dosis dan kondisi sistem [6]. Pada ranah bata ringan, tantangan spesifiknya terletak pada interaksi antara matriks berbuih (Foam) dan pasta semen yang berpori, sehingga strategi penurunan serapan air dengan tetap menjaga atau meningkatkan kuat tekan harus diarahkan pada pengendalian porositas efektif. Dengan demikian, pemilihan, kadar, dan cara pencampuran nano silika sebagai bahan tambah pengisi perlu diuji secara eksperimental pada sistem CLC yang dirujuk pada ketentuan kinerja SNI 8640:2018 untuk serapan air dan kuat tekan.

Berdasarkan urgensi tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan secara induktif dari fakta empiris dan telaah teoretik sebagai berikut. Pertama, bagaimana pengaruh variasi penambahan nano silika terhadap kuat tekan bata ringan CLC pada umur rencana sehingga memenuhi atau melampaui kriteria SNI 8640:2018. Kedua, bagaimana pengaruh variasi penambahan nano silika terhadap serapan air bata ringan CLC dalam kondisi perendaman terkontrol, mengingat karakter lingkungan lembap di banyak wilayah Indonesia. Kedua pertanyaan ini saling terkait karena perubahan mikrostruktur akibat nano silika dapat secara simultan memengaruhi jalur aliran air, retikulasi pori, serta berkembangnya gel C-S-H, yang pada akhirnya menentukan kompromi sifat mekanik–durabilitas.

Permasalahan ini membutuhkan sebuah solusi inovatif. Pendekatan solutif yang ditempuh ialah metode kuantitatif dengan teknik eksperimental yang terstandar. Matriks CLC disusun dari PCC, agregat halus sungai, air, serta foam agent komersial; nano silika ditambahkan pada kadar terpilih relatif terhadap berat semen [7]. Respon kinerja dievaluasi melalui uji kuat tekan benda uji kubus dan uji serapan air setelah perawatan 28 hari dengan prosedur yang merujuk SNI 03-6825-2002 dan spesifikasi kinerja SNI 8640:2018. Desain percobaan memberi ruang identifikasi kadar optimum nano silika dan batas atas dosis sebelum efek aglomerasi partikel dan gangguan kontinuitas matriks menyebabkan penurunan kinerja. Dengan pengendalian mutu material awal termasuk kadar lumpur, gradasi, berat jenis, dan absorpsi agregat sesuai SNI hasil yang diperoleh diharapkan teratribusi pada variasi nano silika secara meyakinkan [8]. Secara spesifik, solusi yang diujikan berfokus pada empat komposisi aditif, yakni 0%, 3%, 6%, dan 9% nano silika terhadap berat semen [9]. Rasional pemilihan rentang ini didukung bukti ilmiah bahwa dosis rendah menengah cenderung memberi kenaikan kekuatan dan penurunan permeabilitas melalui efek filler pozzolanik, sementara dosis tinggi berisiko menimbulkan aglomerasi dan kebutuhan air lebih besar yang merugikan workability serta pembentukan pori [10].

Temuan terkait sistem beton normal menunjukkan adanya kadar optimum; sebagai contoh, pada f_c' rencana menengah, substitusi/penambahan sekitar 3% mampu memaksimalkan kuat tekan umur 28 hari, sedangkan peningkatan dosis selanjutnya memberikan keuntungan yang menurun atau bahkan negatif [11]. Dalam konteks beton/bata ringan, sebagian studi melaporkan tren serupa: kenaikan kekuatan pada dosis moderat dan penurunan pada dosis lebih tinggi karena interaksi kompleks dengan struktur pori [12]. Oleh sebab itu, pengujian rentang 0–9% relevan untuk memetakan jendela operasi aman optimal pada matriks CLC berbuih. Upaya ilmiah terdahulu di sekitar perbaikan CLC menegaskan pentingnya manajemen porositas dan rekayasa mikrostruktur. Penambahan silica fume pada CLC, misalnya, terbukti meningkatkan kuat tekan melalui pepadatan mikrostruktur dan reaksi pozzolanik sekunder, kendati sensitivitas terhadap rasio air dan kualitas foam tetap tinggi [13]. Penelitian lain pada CLC menguji admixture berbeda, menunjukkan bahwa bahan tambah tertentu dapat memodifikasi berat jenis, serapan air, dan kekuatan secara signifikan [14].

Komposit semen secara umum meninjau perlunya pemutakhiran dengan penggunaan nano silika untuk peningkatan durabilitas dan kekuatan melalui percepatan nukleasi C-S-H, pengikatan Ca(OH)₂, dan perbaikan ITZ [15], seraya mengingatkan adanya isu dispersi partikel dan kompatibilitas superplasticizer yang perlu dikendalikan dalam praktik [16]. Pengetahuan ini menjadi landasan teknis untuk merancang uji yang menakar pengaruh nano silika pada serapan air dan kuat tekan CLC secara serentak. Dari sudut durabilitas, pengendalian serapan air merupakan kunci bagi batang tubuh dinding di iklim lembap. Celah penelitian yang tampak ialah minimnya kajian eksperimental yang secara eksplisit men-tracking pengaruh nano silika sebagai bahan tambah pengisi terhadap dua indikator kuncikuat tekan dan serapan air pada sistem CLC berbasis material lokal dan prosedur SNI, dengan rentang kadar yang memadai untuk mengidentifikasi dosis optimum praktis.

Bertolak dari peta masalah dan bukti ilmiah tersebut, penelitian ini bertujuan menguji secara eksperimental pengaruh penambahan nano silika terhadap kuat tekan dan serapan air bata ringan CLC pada

umur 28 hari. Kebaruan terletak pada integrasi evaluasi ganda kinerja mekanik–durabilitas dalam satu desain uji yang konsisten dengan SNI 8640:2018, menggunakan material lokal (PCC, agregat halus sungai, foam agent komersial) dan rentang kadar nano silika yang dirancang untuk menangkap titik optimum. Hipotesis kerja yang diajukan ialah bahwa penambahan nano silika menurunkan serapan air dan meningkatkan kuat tekan hingga kadar optimum diperkirakan sekitar 3% karena dominasi efek filler–pozzolanik pada pembentukan gel C-S-H dan penyempitan pori; sebaliknya, pada kadar lebih tinggi, aglomerasi partikel dan gangguan reologi memicu peningkatan porositas efektif dan penurunan kekuatan. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada CLC dengan PCC merek Tonasa, variasi nano silika 0%, 3%, 6%, dan 9% terhadap berat semen, benda uji kubus 100 mm sebanyak empat puluh sampel, curing air 28 hari, serta pengujian kuat tekan dan serapan air mengacu SNI yang relevan. Dengan batasan ini, hasil yang diperoleh diharapkan memberi bukti empiris yang jelas mengenai dosis optimum nano silika untuk menyeimbangkan kekuatan dan ketahanan lembap pada CLC, sekaligus menyediakan dasar teknis bagi industri untuk meningkatkan kualitas bata ringan dengan pendekatan yang lebih berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian dengan pendekatan kuantitatif dengan metode experimental yang ditunjukkan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan nano silika terhadap kinerja mekanik dan durabilitas bata ringan tipe Cellular Lightweight Concrete (CLC). Rancangan eksperimen menitikberatkan pada dua respons utama, yakni kuat tekan dan penyerapan air, sehingga pemilihan prosedur uji, standar acuan, serta pengendalian kualitas material dilakukan secara ketat agar perubahan pada respons benar-benar teratribusi pada variasi kadar nano silika. Pengujian ini didasarkan pada standarisasi relevan yang seharusnya ada pada batu bata ringan, terkhusus SNI 8640:2018.

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Struktur dan Bahan, Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare dengan durasi penelitian selama kurang lebih 4 bulan. Penelitian ini meliputi beberapa tahapan seperti studi literatur, persiapan laboratorium, pengujian bahan dasar, pembuatan benda uji, uji penyerapan air, uji kuat tekan, dan analisis hasil penelitian.

Pelaksanaan penelitian ini dibantu dengan beberapa bahan utama yang terdiri dari Portland Composite Cement (PCC), agregat halus berupa pasir sungai, dan air sebagai bahan campuran, serta foam agent komersial 102 CLC sebagai pembentuk pori, dan bahan tambahan yakni nano silika. Peralatan yang digunakan adalah cetakan bata ringan berkonfigurasi potong kubus 100mm, peralatan uji karakteristik agregat, dan perangkat pemeriksaan kadar lupur, zat organik, mixer, foam generator, timbangan digital, oven, wadah pencampur, serta mesin uji tekan terkalibrasi. Variabel bebas adalah kadar nano silika terhadap berat semen dengan empat taraf, yakni 0%, 3%, 6%, dan 9%. Variabel terikat mencakup kuat tekan dan penyerapan air pada umur 28 hari. Variabel kendali meliputi jenis semen (PCC), sumber agregat halus (Pasir Sungai Lasape), rasio pembentukan foam (1:40 dengan kebutuhan air normal 50 liter per satuan foam agent, metode perawatan (Perendaman/Curing air selama 28 hari), serta dimensi benda uji (kubus 100×100×100 mm) sesuai SNI 8640:2018.

Tahap awal mencakup pengujian karakteristik agregat halus: berat jenis curah (SNI 03 1970 1990), kadar air (SNI 03 1971 1990), gradasi/analisis saringan (SNI 03 1968 1990), berat volume (SNI 03 4804 1998), kadar lumpur (ASTM C142 97), dan kadar zat organik (ASTM C40 99). Agregat yang tidak memenuhi spesifikasi tidak digunakan pada tahap berikut. Setelah karakterisasi terpenuhi, campuran dasar disiapkan dengan menimbang PCC, pasir, dan air sesuai rancangan. Nano silika dimasukkan sebagai bahan tambah dengan kadar sesuai taraf perlakuan dan diaduk hingga merata; selanjutnya foam yang dihasilkan dari foam generator dengan perbandingan 1:40 dimasukkan ke dalam adukan hingga diperoleh konsistensi dan distribusi pori yang diinginkan. Adonan dituangkan ke dalam cetakan; setelah 12 jam, cetakan dibuka secara hati hati untuk mencegah cacat permukaan. Benda uji kemudian dipindahkan ke area perawatan dan direndam (curing air) selama 28 hari sebelum pengujian utama.

Data dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh langsung dari eksperimen laboratorium meliputi hasil uji karakteristik agregat halus, data penyerapan air, dan kuat tekan pada umur 28 hari. Data sekunder digunakan sebagai landasan teknis dan pembandingan, meliputi SNI 8640:2018; SNI 03 1970 1990; SNI 03 1971 1990; SNI 03 1968 1990; SNI 03 4804 1998; ASTM C142 97; ASTM C40 99, serta literatur pendukung yang relevan sebagaimana digunakan untuk menyusun latar belakang dan tinjauan pustaka. Analisis data dilakukan secara deskriptif komparatif dengan menyajikan distribusi nilai serapan air dan kuat tekan dalam bentuk tabel maupun grafik lintas taraf perlakuan. Evaluasi mencakup (1) Pemeriksaan konsistensi data antar sampel dalam taraf yang sama untuk mendeteksi outlier; (2) Perbandingan rata rata dan rentang variasi antar taraf 0%, 3%, 6%, 9%; dan (3) Penilaian kesesuaian terhadap kriteria kinerja yang dirujuk SNI 8640:2018. Apabila diperlukan, analisis dilengkapi uji signifikansi sederhana untuk memperkuat

kesimpulan komparatif. Indikator keberhasilan eksperimental adalah tercapainya kombinasi kuat tekan yang meningkat atau setidaknya tidak menurun disertai serapan air yang lebih rendah pada taraf nano silika optimum dibanding kontrol 0%.

Pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi uji serap dan uji tekan yang merupakan bagian dari eksperimen yang diterapkan dalam penelitian ini. Uji serap dilaksanakan pada umur 28 hari. Setiap sampel dibersihkan dan dikondisikan kering permukaan, kemudian ditimbang untuk memperoleh berat awal kering (W1). Sampel direndam seluruhnya dalam air selama periode yang telah ditetapkan; setelah diangkat, sampel dibiarkan tiris pada posisi vertikal hingga tidak ada tetesan bebas, lalu ditimbang untuk memperoleh berat akhir jenuh (W2). Serapan air dinyatakan sebagai persentase kenaikan massa terhadap massa kering dengan pencatatan sistematis per sampel. Hasil setiap taraf perlakuan dibandingkan untuk mengevaluasi efek nano silika terhadap jalur aliran air dan porositas efektif, serta dinilai terhadap batas kinerja yang relevan dalam SNI 8640:2018.

Sedangkan uji tekan dilakukan menggunakan mesin uji tekan terkalibrasi. Kubus uji 100 mm ditempatkan pada pelat bawah atas mesin, kemudian beban tekan dinaikkan secara merata hingga benda uji hancur. Nilai beban maksimum yang terbaca digunakan untuk menghitung kuat tekan nominal setiap sampel. Hasil pengujian dicatat untuk seluruh taraf nano silika dan dianalisis secara komparatif, termasuk penentuan kecenderungan peningkatan/penurunan kekuatan sebagai fungsi kadar nano silika dengan perhatian khusus pada kemungkinan titik optimum.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini akan menampilkan hasil uji serap dan uji tekan yang merupakan tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini. Pengujian awal sebelum melangkah pada pengujian utama meliputi pengujian material, pengujian material memiliki tujuan untuk membangun material yang dapat dan layak digunakan dalam rancangan campuran dan pengujian-pengujian lain dalam penelitian ini. Berikut adalah hasil pengujian material agregat halus.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Uji Agregat Halus

Karakteristik Agregat	Internal	Hasil Pengamatan		Rata-Rata	Keterangan
		I	II		
Kadar Lumpur	Maks. 5%	0%	5.4%	4.96%	Memenuhi
Kadar Organik	<No. 3	45%	1	1	Memenuhi
Kadar Air	2%-5%	34%	3.03%	3.83%	Memenuhi
Berat Volume					
a. Kondisi Lepas	1.4-1.9 Kg/Liter	1.64	1.62	1.63	Memenuhi
b. Kondisi Padat	1.4-1.9 Kg/Liter	1.69	1.72	1.70	Memenuhi
Absorpsi	0.2%-2%	1%	2.25%	1.55%	Memenuhi
Berat Jenis Spesifik					
a. BJ. Nyata	1.6-3.3	2.47	2.61	2.61	Memenuhi
b. BJ. Dasar Kering	1.6-3.3	2.42	2.47	2.47	Memenuhi
c. BJ. Kering Permukaan	1.6-3.3	2.44	2.53	2.53	Memenuhi
Modulus Kelulusan	1.50-3.80	3.24	3.2	3.24	Memenuhi

Sumber: Analisis Data (2025)

Pengujian awal terhadap material dilakukan sebagai dasar validasi mutu sebelum perencanaan campuran. Hasil rekapitulasi agregat halus menunjukkan seluruh parameter memenuhi syarat pemakaian. Kadar lumpur berada pada 4,96% (maksimum 5%), kadar organik pada standar warna No.1 (rendah), kadar air rata rata 3,83% (rentang 2–5%), berat volume kondisi lepas 1,63 kg/l dan padat 1,70 kg/l (interval 1,4–1,9 kg/l), absorpsi 1,55% (interval 0,2–2%), berat jenis (nyata 2,54; dasar kering 2,44; kering permukaan 2,48) berada pada rentang 1,6–3,3, serta modulus kehalusan 3,24 (interval 1,50–3,80). Temuan ini menegaskan agregat layak digunakan pada rancangan campuran dan pengujian berikutnya.

Uji serap air dalam material seperti bata ringan CLC merupakan indikator kunci untuk mengevaluasi porositas efektif serta keterhubungan jaringan pori, yang berimplikasi pada ketahanan terhadap lingkungan lembap dan berbagai risiko seperti degradasi dini (Rahmanto & Jafar, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa penambahan nano silika dapat berkontribusi pada penutupan pori kapiler, yang pada gilirannya membantu mengurangi jalur migrasi air serta meningkatkan kekuatan dan durabilitas material (Song et al., 2020). Sementara itu, sistem CLC yang sangat dipengaruhi oleh kualitas foam dan distribusi pori membuat uji serap semakin relevan dalam menilai keberhasilan rancangan campuran dan efektivitas bahan tambah seperti nano

silika dalam meminimalkan penetrasi air (Jumiati et al., 2022). Dengan melakukan uji serap air sesuai standar (Misalnya SNI 8640:2018), kita dapat memastikan bahwa spesifikasi mutu tercapai, sehingga material memiliki ketahanan yang memadai terhadap kelembapan (Rahmanto & Jafar, 2023). Berikut adalah hasil uji serap bata ringan dengan adanya penambahan bahan nano silika.

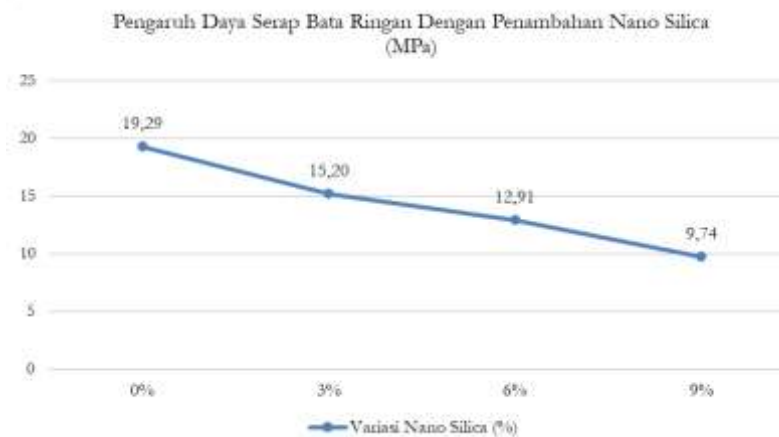
Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Serap Bata Ringan dengan Penambahan Nano Silica

Variasi Sampel	Berat Basah (Gr)	Berat Kering (Gr)	Daya Serap Air (%)
0%	1426.50	1200.34	19.29
3%	1306.50	1133.80	15.20
6%	1166.00	1032.90	12.91
9%	1353.70	1234.32	9.74

Sumber: Analisis Data (2025)

Uji penyerapan air dilakukan pada umur 28 hari terhadap 40 sampel (masing masing 10 sampel per variasi). Rata rata hasil menunjukkan tren penurunan penyerapan seiring kenaikan dosis nano silika. Variasi 0% menghasilkan berat basah 1426,50 g, berat kering 1200,34 g, dengan daya serap 19,29%; variasi 3% menghasilkan 1306,50 g dan 1133,80 g (15,20%); variasi 6% menghasilkan 1166,00 g dan 1032,90 g (12,91%); dan variasi 9% menghasilkan 1353,70 g dan 1234,32 g (9,74%) (Sumber: hasil olah data). Dibandingkan kontrol 0%, penyerapan turun sekitar 21,2% pada 3%, 33,1% pada 6%, dan 49,5% pada 9%. Secara kinerja, seluruh variasi memenuhi spesifikasi SNI 8640:2018; sesuai pengelompokan pada naskah asli yang merujuk Tabel 2.3, variasi 3% dan 6% termasuk kelas IA (penyerapan $\leq 25\%$), sedangkan normal dan 9% dikategorikan kelas IIA (ketentuan penyerapan tidak dibatasi), seraya tetap memenuhi persyaratan SNI 8640:2018 (SNI 8640:2018).

Penggunaan nano silika berkorelasi dengan peningkatan densitas dan penutupan pori kapiler, yang membantu menurunkan jalur migrasi air dan meningkatkan ketahanan material terhadap lingkungan lembap, dengan semua variasi memenuhi spesifikasi SNI 8640:2018 (Shah et al., 2022). Penurunan daya serap ini juga relevan dengan pengembangan material yang berpotensi memiliki ketahanan lebih baik terhadap pelapukan, effloresensi, dan penurunan performa termal yang sering disebabkan oleh kelembapan (Marx et al., 2017), sementara 0% dan 9% dikategorikan dalam kelas IIA menurut kriteria yang ada. Penambahan nano silika berpotensi mengubah sifat hidrofobik partikel, yang berpengaruh pada daya serap air dalam matriks (Sosiati et al., 2023). Untuk memperoleh ilustrasi yang representatif hasil rekapitulasi uji serap juga ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 1. Hasil Uji Serap Bata Ringan

Uji kuat tekan sangat penting dalam menilai kemampuan material untuk menahan beban tekan hingga batas hancurnya, yang merupakan parameter kunci dalam evaluasi kualitas mekanik. Penambahan nano silika dapat berfungsi untuk meningkatkan karakteristik mikrostruktur campuran, termasuk densifikasi dan perbaikan zona transisi antarbatu (ITZ), yang diharapkan dapat meningkatkan kapasitas tekan material (Suwindu & Sandy, 2020). Pengujian kuat tekan dapat digunakan untuk klasifikasi mutu dan pemeriksaan konsistensi dalam proses produksi dan curing beton, sehingga menentukan kelayakan penggunaan material sesuai spesifikasi teknis (Gumelar & Nuraini, 2021). Penambahan bahan tambah harus dioptimalkan untuk menghindari efek negatif seperti aglomerasi atau gangguan reologi yang dapat menurunkan kekuatan. Berikut adalah hasil uji tekan yang dilaksanakan dalam penelitian ini.

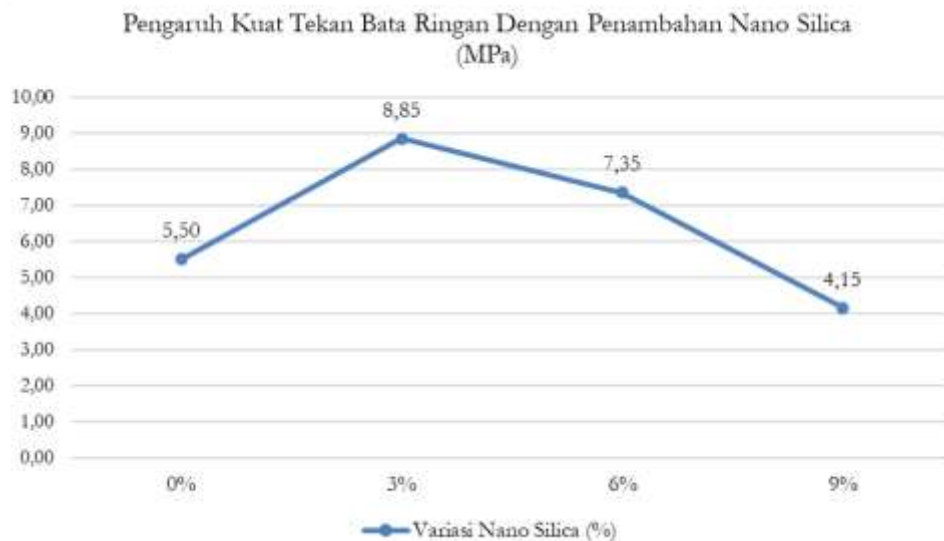
Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Uji Serap Bata Ringan dengan Penambahan Nano Silica

Variasi Sampel	Berat Basah (Gr)	Berat Kering (Gr)	Daya Senap Air (%)
0%	1.200	55.00	5.50
3%	1.134	88.50	8.85
6%	1.033	73.50	7.35
9%	1.234	41.50	4.15

Sumber: Analisis Data (2025)

Uji kuat dilakukan pada umur 28 hari dengan total 40 sampel. Untuk kontrol (0%), rentang kuat tekan individu berkisar 2,50–6,50 MPa dengan rata rata 5,50 MPa; pada variasi 3% rentang 6,50–10,00 MPa dengan rata rata 8,85 MPa; pada variasi 6% rentang 5,00–9,00 MPa dengan rata rata 7,35 MPa; sedangkan variasi 9% berada pada rentang 2,50–5,00 MPa dengan rata rata 4,15 MPa (Sumber: hasil olah data). Secara relatif terhadap kontrol, kuat tekan rata rata meningkat sekitar 60,9% pada 3% dan 33,6% pada 6%, namun menurun 24,5% pada 9%. Temuan ini menunjukkan adanya titik optimum kinerja mekanik pada kadar nano silika moderat (sekitar 3%), serta penurunan pada kadar tinggi yang mengindikasikan potensi aglomerasi partikel dan gangguan reologi pasta.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan adanya titik optimal pada kadar silika yang moderat, di mana peningkatan kekuatan maksimum dapat dicapai sebelum terjadi penurunan akibat aglomerasi (Sriyanti et al., 2015; Liu et al., 2017; Nematollahi et al., 2019). Temuan ini sangat konsisten dengan berbagai studi yang menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel, pada kadar tertentu, mampu memperbaiki sifat mekanik material tetapi dapat mengakibatkan penurunan performa jika digunakan secara berlebihan (Bao et al., 2015; Elbatanony et al., 2024). Selanjutnya untuk memberikan ilustrasi representatif digambarkan pula hasil rekapitulasi ini dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 2. Hasil Uji Tekan Baja Ringan

Terdapat beberapa temuan pokok dalam penelitian ini. Pertama, karakteristik agregat halus memenuhi seluruh kriteria mutu dasar sehingga tidak menjadi sumber bias pada respons utama. Kedua, rancangan campuran berbasis SNI 8640:2018 menghasilkan spesimen uji yang valid secara dimensional dan proses, dengan variasi nano silika 0–9% terhadap volume semen. Ketiga, penambahan nano silika menurunkan penyerapan air secara monoton, dengan penurunan relatif hingga 49,5% pada 9% dibanding 0%. Keempat, kuat tekan rata rata memuncak pada 3% (8,85 MPa), meningkat 60,9% dibanding kontrol, kemudian menurun pada 6% (7,35 MPa) dan 9% (4,15 MPa). Kelima, seluruh variasi memenuhi koridor kinerja SNI 8640:2018 yang relevan untuk bata ringan CLC. Secara keseluruhan, hasil menegaskan adanya kadar optimum nano silika pada kisaran rendah hingga menengah untuk memaksimalkan kekuatan, sementara pengurangan penyerapan dapat terus berlanjut pada kadar lebih tinggi dengan konsekuensi penurunan kuat tekan. Pola respons ini konsisten dengan literatur yang menekankan peran nano silika dalam densifikasi mikrostruktur pada dosis optimum serta risiko aglomerasi pada dosis berlebih.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan nano silika dengan variasi 3% dapat mencapai kuat tekan tertinggi yakni 8,85MPa apabila dibandingkan dengan kuat tekan pada bata ringan normal yang hanya 5,50MPa. Variasi 6% juga menunjukkan hasil peningkatan kuat tekan sebesar 7,35MPa dibandingkan bata ringan pada variasi normal, meskipun lebih rendah dari variasi 3%. Sebaliknya, variasi 9% menghasilkan kuat tekan terendah yakni 4,15MPa bahkan lebih rendah dibandingkan bata ringan normal. Sedangkan, untuk pengujian tingkat penyerapan air. Penyerapan air tertinggi diperoleh oleh variasi normal sebesar 19,29%. Penambahan variasi nano silika secara konsisten menurunkan tingkat penyerapan air, yaitu 15,20% pada variasi 3%, 12,89% pada variasi 6%, dan terendah pada variasi 9% dengan daya serap sebesar 9,74%.

Hal ini menunjukkan efektivitas nano silik dalam mengurangi porositas dan meningkatkan ketahanan bata ringan terhadap penyerapan air. Implikasinya, rekayasa campuran CLC berbasis nano silika dapat menjadi strategi peningkatan mutu yang selaras dengan efisiensi material. Studi ini mengembangkan bidang keilmuan dengan menghadirkan bukti terkontrol pada konteks CLC berbuih, serta membuka agenda riset lanjutan berupa karakterisasi mikrostruktur (SEM/MIP), uji durabilitas jangka panjang dan kompatibilitas admixture, analisis siklus hidup dan biaya, serta uji lapangan berskala produksi untuk memvalidasi performa dan keterulangan.

5. Singkatan

%	Persentase
Gr	Gram
SNI	Standar Nasional
Mpa	Megapascal
CLC	Cellular Lightweight Concrete
ASTM	American Society for Testing and Materials

6. Referensi

- [1] Z. F. Syahdinar and A. Jajuli, "Analisa Kualitas Kuat Bata Ringan Pasir Bomberay Dan Pasir Fakfak," in *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, 2021, pp. 58–65.
- [2] Putri, Hanriani. *Pengaruh Penggunaan Alumunium Pasta Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Dengan Bahan Tambah Serat Polyethylene*. Diss. Universitas Muhammadiyah Parepare, 2024.
- [3] L. Domagała, "The effect of lightweight aggregate water absorption on the reduction of water-cement ratio in fresh concrete," *Procedia Eng.*, vol. 108, pp. 206–213, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.06.139.
- [4] Zahro, Fatimatuz. *Kajian Reduksi Karbon Dioksida Dari Penggunaan Energi di Industri Semen (Studi Kasus PT X)*. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2024.
- [5] K. Khan, W. Ahmad, M. N. Amin, and S. Nazar, "Nano-Silica-Modified Concrete: A Bibliographic Analysis and Comprehensive Review of Material Properties," *Nanomaterials*, vol. 12, no. 12, 2022, doi: 10.3390/nano12121989.
- [6] H. AlTawaiha, F. Alhomaidat, and T. Eljufout, "A Review of the Effect of Nano-Silica on the Mechanical and Durability Properties of Cementitious Composites," *Infrastructures*, vol. 8, no. 9, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3390/infrastructures8090132.
- [7] T. Kim, J. H. Kim, and Y. Jun, "Properties of alkali-activated slag paste using new colloidal nano-silica mixing method," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 9, pp. 1–22, 2019, doi: 10.3390/ma12091571.
- [8] A. A. Abed, A. Mojtahedi, and M. A. Lotfollahi-Yaghin, "New concrete composites incorporated with calcium acetate as admixture: The Impact of Curing Age on Strength and the Effect of Temperature on Water Absorption," *E3S Web Conf.*, vol. 405, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202340503015.
- [9] S. Farajzadehha, M. Mahdikhani, R. Ziaei Moayed, and S. Farajzadehha, "Experimental study of permeability and elastic modulus of plastic concrete containing nano silica," *Struct. Concr.*, vol. 23, no. 1, pp. 521–532, 2022, doi: 10.1002/suco.202000551.
- [10] M. Alvansazyazdi *et al.*, "Evaluating the influence of hydrophobic nano-silica on cement mixtures for corrosion-resistant concrete in green building and sustainable urban development," *Sustainability*, vol. 15, no. 21, p. 15311, 2023.
- [11] A. Laksono, 1, Denie Chandra², and R. Baniva, "Analisis Pengaruh Penggunaan Nano Silika Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Fc' 25 MPa," *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 14–25, 2024, doi: 10.35334/be.v8i1.4972.
- [12] I. Wiliam, Mahfuz Hudori, "Analisis Pengaruh Penggunaan Campuran Nano Silika Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan," *J. Civ. Eng. Plan.*, vol. 4, pp. 2746–6299, 2023, doi: 10.37253/jcep.v4i1.737.

- [13] Y. O. N. Subagiono, H. Maizir, and R. Suryanita, "Perilaku Mekanik Bata Ringan," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 16, no. 3, pp. 194–204, 2021.
- [14] Farhan, Muhammad, Muhammad Nuklirullah, and Fetty Febriasti Bahar. "Pengaruh Penggunaan Abu-Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton." *Jurnal Teknik* 21.1 (2023): 58-67.
- [15] M. Zarehparvar-Shoja and H. Eskandari-Naddaf, "Optimizing Compressive Strength of Micro- and Nano-silica Concrete by Statistical Method," *Civ. Eng. J.*, vol. 3, no. 11, pp. 1084–1096, 2017, doi: 10.28991/cej-030939.
- [16] H. H. Ali and H. K. Awad, "The Influence of Nano-Silica on Some Properties of Light Weight Self-Compacting Concrete Aggregate," *E3S Web Conf.*, vol. 427, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202342702008.