Volume 09 Nomor 01 Juni 2026 p-ISSN 2614-5707 e-ISSN 2715-1581

Analisis Pengaruh Limbah Serbuk Kaca Sebagai Bahan Tambah Dan Subsitusi Agregat Halus Terhadap Workability Dan Kuat Tekan Beton Normal

Alfareza[1*], Fathoni USMAN[2], Debby Sinta DEVI[3]

[1,2,3] Prodi Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri, email:rrezaaaaa26@gmail.com

Sejarah artikel
Diserahkan: 09 Januari 2026 Diterima: 30 Juni 2026
Dalam bentuk revisi: 30 Juni 2026 Tersedia *online:* 30 Juli 2026

Abstract

Concrete has become a primary construction material in various infrastructure projects due to its high strength and durability under different environmental conditions. Growing awareness of environmental sustainability has encouraged the development of eco-friendly concrete by utilizing industrial waste, one of which is glass powder. The silica (SiO_2) content in glass powder acts as a filler and exhibits pozzolanic properties, enhancing cement hydration and improving concrete strength. This study aims to assess the effect of adding glass powder as an additive and partial replacement for fine aggregate on concrete workability and compressive strength. Glass powder was incorporated at proportions of 12%, 15%, and 17% of the total fine aggregate. Results indicate that increasing the glass powder content enhances both workability and concrete density, with the highest compressive strength observed in the 15% mixture, reaching 28.94 MPa at 28 days. These findings suggest that incorporating glass powder not only reduces glass waste but also improves concrete performance, supporting more sustainable and environmentally friendly construction practices.

Keywords: *Concrete, sustainable materials, glass powder, compressive strength, workability*

Abstrak

Beton telah menjadi material konstruksi utama dalam berbagai proyek infrastruktur karena kekuatannya dan daya tahan terhadap kondisi lingkungan. Kesadaran terhadap pelestarian lingkungan mendorong inovasi beton ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah industri, salah satunya serbuk kaca. Kandungan silika (SiO_2) dalam serbuk kaca berfungsi sebagai filler dan memiliki sifat pozzolanik, yang mendukung proses hidrasi semen sekaligus meningkatkan kekuatan beton. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efek penambahan serbuk kaca sebagai bahan tambahan dan pengganti sebagian agregat halus terhadap kelecakan (workability) dan kuat tekan beton. Serbuk kaca ditambahkan pada kadar 12%, 15%, dan 17% dari total agregat halus. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan proporsi serbuk kaca meningkatkan kelecakan dan kepadatan beton, dengan kuat tekan tertinggi dicapai pada campuran 15%, yakni 28,94 MPa pada umur 28 hari. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca bukan hanya efektif mengurangi limbah kaca, tetapi juga dapat meningkatkan performa beton, sehingga mendukung praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: *Beton, material berkelanjutan, serbuk kaca, kuat tekan, kelecakan*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia yang terus meningkat secara signifikan mendorong peningkatan kebutuhan terhadap pembangunan infrastruktur. Infrastruktur berfungsi sebagai sarana penting yang menunjang aktivitas masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Seiring dengan perkembangan populasi, kebutuhan akan pembangunan yang berkelanjutan di sektor konstruksi pun semakin tinggi (Pratama et al., 2022).

Beton merupakan bahan konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kekuatan tekan tinggi serta ketahanan terhadap berbagai kondisi lingkungan. Beton terdiri dari campuran semen, agregat halus dan kasar, air, serta beberapa bahan tambahan. Salah satu inovasi terkini adalah pemanfaatan serbuk kaca, yaitu limbah kaca yang digiling hingga menjadi partikel sangat halus, memiliki kandungan silika sehingga memiliki bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dapat meningkatkan kepadatan dan kekuatan struktur beton (Dhana & Arif, 2021).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Bahadur dan Kumar Parashar (2023) dengan variasi subtitusi 10%, 15%, dan 20% memberikan hasil optimal pada campuran 15%, dengan nilai kuat tekan tertinggi mencapai 41,3 MPa. Nilai tersebut meningkat sekitar 17,05% dibandingkan dengan beton normal tanpa campuran serbuk kaca. Selain itu, campuran beton yang mengandung serbuk kaca memiliki tingkat penyerapan air yang lebih rendah dari 7,56% pada campuran tanpa kaca menjadi 6,90% pada campuran 20% kaca yang menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap penetrasi air.

Pada penelitian Nura Diana, Fansuri, dan Zainah (2021), di mana beton dengan campuran serbuk kaca 10%, 20%, dan 30% menghasilkan kuat tekan optimum pada variasi 10% dengan nilai sebesar 32,94 MPa. Temuan tersebut memperkuat bukti bahwa penambahan serbuk kaca dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan sifat mekanik beton, khususnya pada parameter kuat tekan.

Hasil Penelitian Ani, Hossain, dan Shahril (2022) mengemukakan bahwa penggunaan serbuk kaca pada beton tidak hanya memberikan dampak positif terhadap kekuatan tekan, tetapi juga berpotensi memperbaiki *workability*, tergantung pada kadar dan teknik pencampurannya. Dari sisi lingkungan, penggunaan limbah kaca dapat membantu mengurangi volume limbah padat yang sulit terurai dan mendukung upaya pembangunan berkelanjutan. Keterbatasan sumber agregat halus alami juga menjadi alasan penting untuk mengembangkan bahan alternatif yang bersifat ramah lingkungan. Zeybek et al. (2022) menegaskan bahwa limbah kaca salah satu material yang memiliki potensi besar sebagai bahan substitusi dalam beton, baik dari sisi teknis.

Oleh sebab itu penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai bahan tambahan sekaligus pengganti sebagian agregat halus terhadap kinerja beton, khususnya dalam hal kelecakan *(workability)* dan kuat tekan beton normal. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh komposisi campuran beton yang tidak hanya menawarkan kekuatan struktural optimal, tetapi juga mendukung praktik konstruksi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2. Metodologi

Penelitian menggunakan metode eksperimental dan dilaksanakan di laboratorium dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah serbuk kaca, baik sebagai bahan tambahan maupun sebagai subtitusi sebagian agregat halus, terhadap nilai kelecakan *(workability)* dan kuat tekan beton. Dalam proses pembuatan beton, variasi kadar serbuk kaca yang diterapkan adalah sebesar 12%, 15%, dan 17% dari total massa agregat halus.

Pengujian kuat tekan menggunakan silinder uji berukuran 10x20 cm dan dilakukan pada umur 28 hari., dengan tujuan memperoleh data kekuatan tekan yang menggambarkan performa optimal beton setelah proses pengerasan selesai.

Material dan Peralatan

Tahap awal penelitian mencakup persiapan bahan dan peralatan yang dibutuhkan untuk seluruh proses pembuatan beton. Limbah kaca yang digunakan berasal dari sisa pembuangan konstruksi, sedangkan bahan lain meliputi pasir dari Tanjung Raja, semen merek Baturaja, dan air dari PDAM. Peralatan yang digunakan antara lain saringan bertingkat (ayakan) dan alat ayakan untuk analisis gradasi agregat, timbangan digital untuk menimbang bahan, tabung ukur dan piknometer untuk pengujian berat jenis, oven untuk pengeringan sampel, cetakan silinder

Volume 09 Nomor 01 Juni 2026 p-ISSN 2614-5707 e-ISSN 2715-1581

untuk pembuatan benda uji, alat kerucut Abrams untuk uji *slump*, alat *Vicat* untuk pengujian waktu ikat, jangka sorong, serta mesin uji tekan *(compression test)* untuk mengukur kuat tekan beton.

Proses Pengolahan Limbah Kaca

Limbah kaca diolah sebelum digunakan sebagai bahan tambah dan substitusi agregat halus melalui tahapan berikut:

a) Pembersihan limbah kaca, dilakukan dengan mencuci menggunakan air bertekanan tinggi sambil mengenakan sarung tangan pelindung, kemudian kaca dikeringkan hingga bebas dari kotoran.

b) Penghancuran limbah kaca, yaitu dengan menumbuk kaca kering hingga berukuran menyerupai agregat halus.

c) Pengayakan serbuk kaca, dilakukan menggunakan saringan No. 200 hingga diperoleh butiran dengan ukuran lolos 0,075 mm. Serbuk halus inilah yang digunakan sebagai bahan penelitian.

Pengujian Karakteristik Material

Untuk memastikan kesesuaian material terhadap standar mutu beton, dilakukan beberapa pengujian material dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), antara lain:

a) Uji gradasi dilakukan dengan berpedoman pada standar SNI untuk memastikan distribusi ukuran butiran agregat sesuai kriteria yang dipersyaratkan.

b) Pengujian berat jenis dan penyerapan air dilaksanakan berdasarkan acuan SNI guna mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air dan menentukan berat jenisnya.

c) Penetapan kadar air agregat dilakukan mengikuti ketentuan SNI dengan tujuan memperoleh nilai kadar air aktual yang digunakan dalam perhitungan komposisi campuran beton.

d) Pengujian kadar lumpur pada agregat halus mengacu pada SNI, guna menjamin bahwa proporsi material halus, termasuk lempung dan debu, tetap berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan.

e) Pengujian berat isi agregat halus dan kasar dilakukan sesuai dengan pedoman SNI 03-4804-1998 (BSN, 1998) sebagai dasar dalam menentukan proporsi material pada campuran beton.

Tabel 1. Pengujian agregat halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Distribusi Gradasi Agregat (Zona 2)	2,72	%
2	Daya Serap Air	2,25	%
3	Berat Jenis Kondisi Jenuh Kering Permukaan	2,52	%
4	Persentase Kandungan Air	4,48	%
5	Tingkat Kandungan Lumpur	1,33	%
6	Berat Isi Keadaan Gembur	1292.36	kg/m³
7	Berat Isi Padat	1321.87	kg/m³

Tabel 2. Pengujian agregat kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Distribusi Gradasi Agregat (Zona 2)	2,81	%
2	Daya Serap Air	1,69	%
3	Berat Jenis Kondisi Jenuh Kering Permukaan	2,71	%
4	Persentase Kandungan Air	4,42	%
5	Tingkat Kandungan Lumpur	0,87	%
6	Berat Isi Keadaan Gembur	1299,79	kg/m³
7	Berat Isi Padat	1323,78	kg/m³

Tabel 3. Pengujian serbuk kaca

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Distribusi Gradasi Agregat (Zona 2)	2,53	%
2	Daya Serap Air	3,2	%
3	Berat Jenis Kondisi Jenuh Kering Permukaan	2,47	%
4	Persentase Kandungan Air	2,5	%
5	Tingkat Kandungan Lumpur	0,26	%
6	Berat Isi Keadaan Gembur	1287,28	kg/m³
7	Berat Isi Padat	1320,42	kg/m³

Perancangan campuran beton dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Design Mix Formula* (DMF), yang merujuk pada SNI 03-2834-2002. Metode ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal material penyusun beton, sehingga mutu yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Proporsi masing-masing material untuk satu meter kubik beton, termasuk agregat kasar, agregat halus, semen, dan air, telah diatur dan ditampilkan secara rinci pada Tabel 4. Selain itu, jumlah sampel benda uji yang digunakan untuk setiap variasi campuran beton, yang akan diuji kuat tekan dan karakteristik lainnya, dicatat dan disajikan pada Tabel 5. Pendekatan ini memastikan bahwa pengujian dapat dilakukan secara sistematis dan hasil yang diperoleh dapat dianalisis secara akurat untuk menilai pengaruh variasi campuran terhadap sifat mekanis beton.

Keterangan singkatan pada tabel digunakan untuk memudahkan identifikasi jenis beton. BN adalah Beton Normal tanpa tambahan bahan. BTSK menunjukkan Beton yang diberi tambahan serbuk kaca sebagai bahan tambahan, sedangkan BSSK adalah Beton dengan sebagian agregat halus diganti oleh serbuk kaca. Penjelasan ini membantu pembaca memahami perbedaan sifat beton pada setiap variasi campuran yang disajikan dalam tabel.

Tabel 4. Perhitungan DMF

Komposisi Campuran Beton untuk Satu Benda Uji Silinder (10 × 20 cm)						
No.	**Variasi**	**Air**	**Agregat Kasar**	**Agregat halus**	**Material Semen**	**Serbuk Kaca**
1	BN	0,427	1,795	1,247	0,963	_
2	BTSK 12%	0,427	1,795	1,247	0,963	0,150
3	BTSK 15%	0,427	1,795	1,247	0,963	0,187
4	BTSK 17%	0,427	1,795	1,247	0,963	0,212
5	BSSK 12%	0,427	1,795	1,097	0,963	0,150
6	BSSK 15%	0,427	1,795	1,060	0,963	0,187
7	BSSK 17%	0,427	1,795	1,035	0,963	0,212

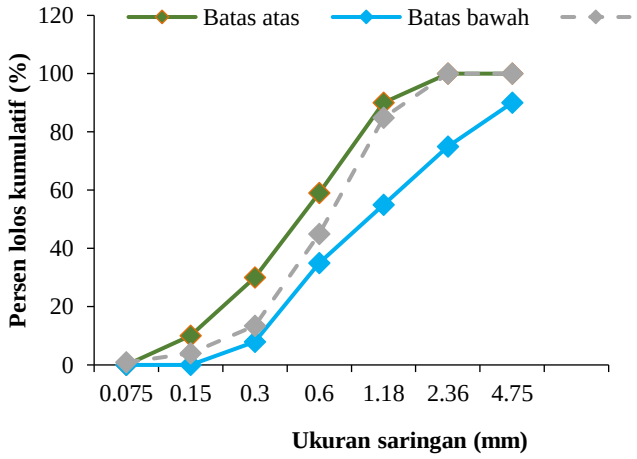
Tabel 5. Total sampel yang diuji

Total Sampel Benda Uji			
No.	**Kode**	**Sampel Kuat Tekan 28 Hari**	**Jumlah Sampel**
1	BN	3	3
2	BTSK 12%	3	3
3	BTSK 15%	3	3
4	BTSK 17%	3	3
5	BSSK 12%	3	3
6	BSSK 15%	3	3
7	BSSK 17%	3	3
Total Jumlah Benda Uji			21

3. Hasil

Hasil Pengujian Kurva Gradasi Serbuk Kaca

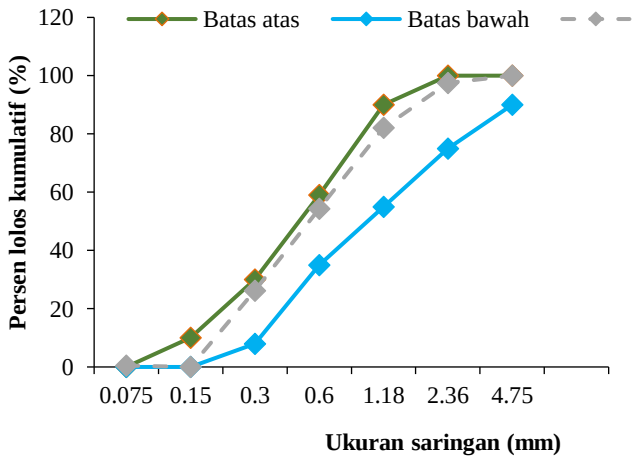
Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Serbuk Kaca



Gambar 1. Analisa Saringan Serbuk Kaca

Dari hasil pengujian diperoleh sebesar 2,53, dan masuk di zona 2, dapat disimpulkan bahwa serbuk kaca yang dipakai masuk dalam batas persyaratan sebagai pasir dalam bahan campuran pembuatan beton beton.

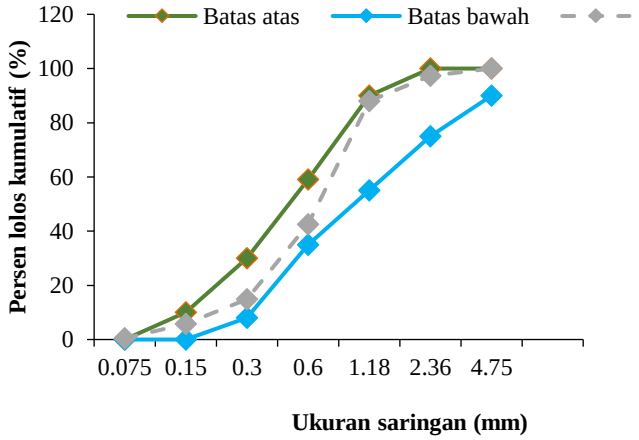
Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Serbuk Kaca Bahan Tambah 12%



Gambar 2. Analisa Saringan Bahan Tambah Serbuk Kaca 12%

Darii hasil pengujian diperoleh sebesar 2,40, dan masuk di zona 2. Terjadi pergeseran kurva gradasi menuju zona agregat yang lebih halus. Hal ini karena ukuran partikel serbuk kaca jauh lebih kecil dibandingkan butiran pasir alami.

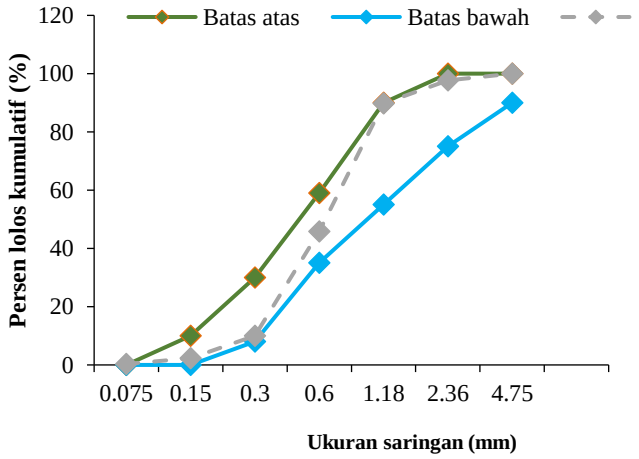
Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Serbuk Kaca Bahan Tambah 15%



Gambar 3. Analisa Saringan Bahan Tambah Serbuk Kaca 15%

Dari hasiI pengujian diperoleh sebesar 2,51, dan masuk di zona 2. Terjadi pergeseran kurva gradasi menuju zona agregat yang lebih halus. Hal ini karena ukuran partikel serbuk kaca jauh lebih kecil dibandingkan butiran pasir alami.

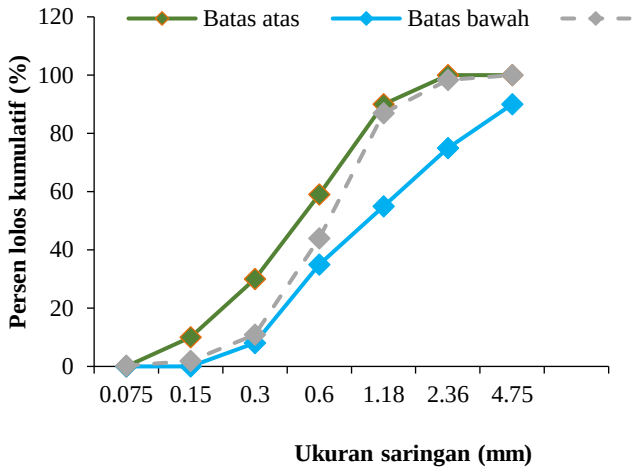
Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Serbuk Kaca Bahan Tambah 17%



Gambar 4. Analisa Saringan Bahan Tambah Serbuk Kaca 17%

Dari hasiI pengujian diperoleh sebesar 2,54, dan masuk di zona 2. Terjadi pergeseran kurva gradasi menuju zona agregat yang lebih halus. Hal ini karena ukuran partikel serbuk kaca jauh lebih kecil.

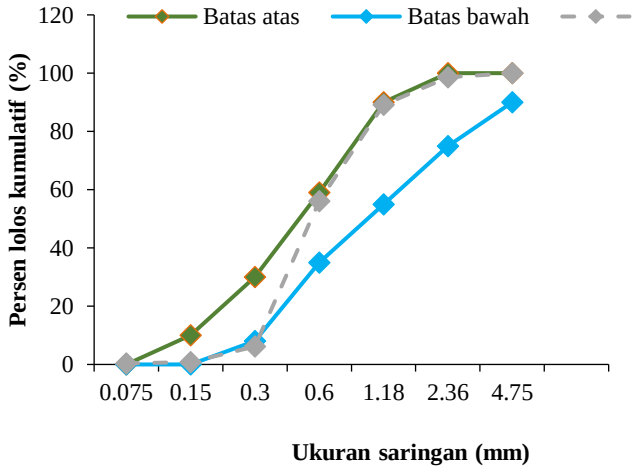
Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Serbuk Kaca Subtitusi 12%



Gambar 5. Analisa Saringan Subtitusi Serbuk Kaca 12%

Dari hasiI pengujian diperoleh sebesar 2,58, dan masuk di zona 2. Terjadi pergeseran kurva gradasi menuju zona agregat yang lebih halus. Hal ini karena ukuran partikel serbuk kaca jauh lebih kecil dibandingkan butiran pasir alami.

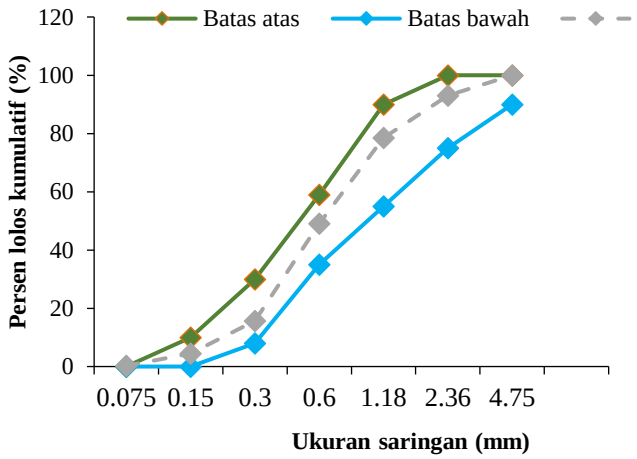
Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Serbuk Kaca Subtitusi 15%



Gambar 6. Analisa Saringan Subtitusi Serbuk Kaca 15%

Dari hasiI pengujian diperoleh sebesar 2,58, dan masuk di zona 2. Terjadi pergeseran kurva gradasi menuju zona agregat yang lebih halus. Hal ini karena ukuran partikel serbuk kaca jauh lebih kecil dibandingkan butiran pasir alami.

Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Serbuk Kaca Subtitusi 17%

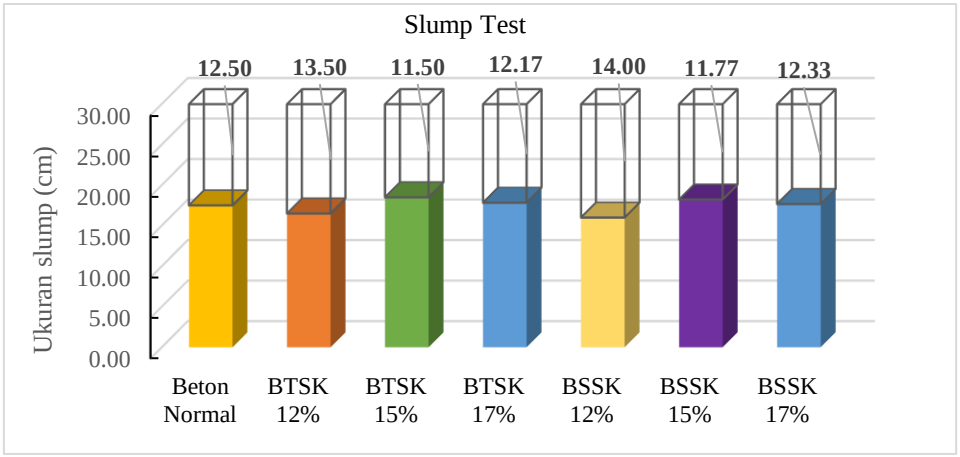


Gambar 7. Analisa Saringan Subtitusi Serbuk Kaca 17%

Dari hasiI pengujian diperoleh sebesar 2,59, dan masuk di zona 2. Terjadi pergeseran kurva gradasi menuju zona agregat yang lebih halus. Hal ini karena ukuran partikel serbuk kaca jauh lebih kecil dibandingkan butiran pasir alami.

Hasil Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk setiap variasi campuran beton guna mengetahui *workability* atau kemudahan pengadukan dan pemadatan, sesuai dengan SNI 03-1972-1990. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 6.



Gambar 8. Hasil Pengujian *Slump*

Tabel 6. Pengujian *Slump*

Pengujian *Slump*		
No.	**Sampel**	**Hasil Slump (cm)**
1	BN	12,50
2	BTSK 12%	13,50
3	BTSK 15%	11,50
4	BTSK 17%	12,17
5	BSSK 12%	14,00
6	BSSK 15%	11,77
7	BSSK 17%	12,33

Volume 09 Nomor 01 Juni 2026 p-ISSN 2614-5707 e-ISSN 2715-1581

Hasil pengujian terhadap tingkat kelecakan *(workability)* menunjukkan bahwa Beton normal memiliki slump 12 cm, sedangkan beton yang tidak mengandung bahan campuran, tampak adanya variasi pada nilai slump yang menandakan bahwa penambahan material tertentu dalam campuran beton memberikan pengaruh terhadap tingkat kelecakannya.beton yang mengandung serbuk kaca baik sebagai bahan tambahan dan subtitusi menunjukkan peningkatan nilai kelecakan. Peningkatan ini berkaitan dengan ukuran partikel serbuk kaca yang sangat halus, sehingga mampu memperbaiki mobilitas serta distribusi partikel di dalam adukan beton. Selain itu, sifat pozzolanik pada serbuk kaca menyebabkan reaksi kimia antara kalsium hidroksida [$Ca(OH)_2$] dan silika belum terjadi secara intensif pada tahap awal pencampuran, sehingga adukan beton masih memiliki tingkat kelenturan yang lebih tinggi sebelum proses pengerasan dimulai. Selain itu *workability* yang tinggi disebabkan karena serbuk kaca memiliki karakteristik tidak menyerap air. Peningkatan ini disebabkan oleh sifat serbuk kaca yang halus dan tidak menyerap air, sehingga memperbaiki distribusi air dalam campuran dan meningkatkan kemudahan pengerjaan beton (Dhana & Arif, 2021).

Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis beton dilakukan untuk memperoleh berat isi beton sebelum dilakukan uji kuat tekan. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Berat Jenis

No.	Jenis Campuran	Berat Jenis (kg/m^3) 28 Hari
1	Beton Normal	2206,79
2	Btsk 12%	2240,16
3	Btsk 15%	2213,43
4	Btsk 17%	2210,50
5	Bssk 12%	2248,84
6	Bssk 15%	2263,50
7	Bssk 17%	2234,24

Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton tanpa campuran serbuk kaca memiliki berat jenis sebesar 2206,79 kg/m³. Nilai tersebut menempatkan beton tersebut dalam kategori beton normal, karena masih berada pada rentang 2200-2500 kg/m³ sesuai standar SNI. Sementara itu, campuran beton yang mengandung limbah serbuk kaca baik sebagai bahan tambahan maupun sebagai substitusi sebagian agregat halus juga tergolong beton normal, karena nilai berat jenisnya tidak keluar dari batas tersebut.

Serbuk kaca sendiri memiliki massa jenis yang relatif mendekati agregat halus alami, sehingga penambahannya ke dalam campuran tidak menimbulkan perubahan signifikan terhadap berat total beton. Namun, pada variasi substitusi sebesar 15%, diperoleh berat jenis paling tinggi yaitu 2263,50 kg/m³, yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut memberikan efek peningkatan massa beton tanpa mengurangi karakteristik umumnya.

Hasil Pengujian Penyerapan

Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, dilakukan pemeriksaan berat jenis untuk mengetahui massa beton. Hasil tersebut tercantum pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Penyerapan

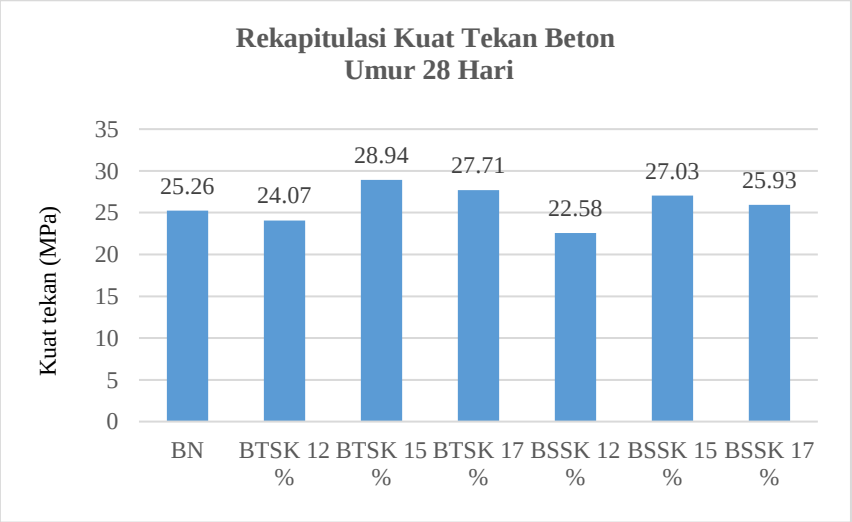
No.	Jenis Campuran	Rata – rata Penyerapan (%) 28 Hari
1	Beton Normal	1,54 %
2	Btsk 12%	1,53 %
3	Btsk 15%	1,83 %
4	Btsk 17%	2,30 %
5	Bssk 12%	3,17 %
6	Bssk 15%	3,71 %
7	Bssk 17%	3,54 %

Berdasarkan hasil pengujian, nilai rata-rata penyerapan air pada beton normal berumur 28 hari tercatat sebesar 1,54%. Sementara itu, pada beton dengan penambahan serbuk kaca, nilai penyerapan air masing-masing mencapai 1,53% untuk variasi 12%, 1,83% untuk variasi 15%, dan 2,30% untuk variasi 17%. Untuk campuran beton sebagai pengganti sebagian dari agregat halus diperoleh nilai penyerapan sebesar 3,17% (12%), 3,71% (15%), dan 3,54% (17%). Seluruh hasil pengujian tersebut masih berada di bawah batas maksimum penyerapan air yang ditetapkan oleh SNI 03-6443-2000, yakni kurang dari 5%, sehingga beton yang dihasilkan dapat diklasifikasikan ke dalam kategori beton dengan mutu tinggi.

Dari hasil tersebut dapat diamati bahwa peningkatan persentase serbuk kaca, baik sebagai bahan tambah maupun substitusi, cenderung meningkatkan nilai penyerapan air. Fenomena ini berkaitan dengan ukuran partikel serbuk kaca yang sangat halus dan memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, sehingga meningkatkan kemampuan menyerap air. Selain itu, pada kadar yang tinggi, tidak seluruh partikel serbuk kaca mampu bereaksi sempurna dengan kalsium hidroksida dalam pasta semen untuk membentuk senyawa *pozzolanik.* Akibatnya, sebagian partikel yang tidak bereaksi berperan sebagai pengisi pasif *(filler inactive)*, yang dapat menimbulkan rongga mikro di dalam struktur beton dan sedikit menurunkan kerapatan material.

4. Pembahasan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan beton dalam menahan gaya tekan, baik pada beton tanpa tambahan maupun pada beton yang mengandung serbuk kaca sebagai bahan tambahan dan subtitusi agregat halus. Setelah benda uji menjalani perawatan *(curing)* dan mencapai umur 28 hari, pengujian dilaksanakan untuk menilai sejauh mana kuat tekan beton mencapai atau mendekati mutu rencana yang telah ditetapkan. Hasil uji kuat tekan dari setiap variasi dari campuran beton dicatat dan dianalisis untuk mengetahui perbedaan kinerja antar campuran. disajikan secara rinci pada Gambar 1 dan Tabel 9.



Gambar 9. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Tabel 9. Hasil Uji Kuat Tekan

No.	Jenis Campuran	Kuat Tekan (Mpa) 28 Hari
1	Beton Normal	25,26
2	Btsk 12%	24,07
3	Btsk 15%	28,94
4	Btsk 17%	27,71
5	Bssk 12%	22,58
6	Bssk 15%	27,03
7	Bssk 17%	25,93

Pengujian kuat tekan pada 28 hari menunjukkan beton normal sebesar 25,26 MPa, sedangkan beton dengan penambahan serbuk kaca memiliki yang dihasilkan masing-masing sebesar 24,07 MPa untuk variasi 12%, 28,94 MPa untuk 15%, dan 27,71 MPa untuk 17%. Sedangkan pada beton dengan penggantian sebagian agregat halus menggunakan serbuk kaca (substitusi), diperoleh kekuatan tekan berturut-turut 22,58 MPa, 27,03 MPa, dan 25,93 MPa untuk variasi campuran 12%, 15%, dan 17%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran beton dengan penambahan serbuk kaca sebesar 15% menunjukkan kuat tekan hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan variasi campuran lain, menandakan bahwa kadar tersebut paling efektif dalam meningkatkan kekuatan beton. Kandungan silika pada serbuk kaca berperan aktif dalam reaksi *pozzolanik* dan kalsium hidroksida yang terbentuk selama hidrasi semen, sehingga membentuk kalsium silikat hidrat sekunder yang memperkuat struktur beton. Pada pemakaian 15%, jumlah serbuk kaca yang ditambahkan dinilai cukup untuk memberikan efek *pozzolanik* serta berfungsi sebagai pengisi mikro (filler) yang memperbaiki kepadatan pasta semen tanpa menimbulkan kelebihan partikel yang tidak bereaksi. Sebaliknya, pada kadar 12%, efek *pozzolanik* belum berkembang maksimal, sedangkan pada 17%, kelebihan partikel serbuk kaca justru mengurangi kepadatan dan meningkatkan porositas beton. Dengan demikian, kadar 15% dapat dianggap sebagai titik optimum penggunaan serbuk kaca untuk mencapai keseimbangan antara reaksi kimia dan kepadatan struktural beton.

Penelitian yang dilakukan oleh Dhana dan Arif (2021) dalam JURMATEKS: Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil mendukung hasil ini. Mereka meneliti Penelitian mengenai Penggunaan serbuk-kaca subtitusi sebagian agregat halus pada beton dengan mutu rencana Fc’ 16,6 MPa (K-200) dan variasi campuran 5%, 15%, dan 25% menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap kuat tekan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran dengan 5% serbuk kaca memberikan kuat tekan tertinggi, yakni 34,24 MPa pada umur 28 hari. Peningkatan kadar serbuk kaca menjadi 15% dan 25% justru menurunkan kekuatan beton, masing-masing menjadi 31,10 MPa dan 27,10 MPa.

Perbedaan hasil antara kedua penelitian ini dapat dijelaskan oleh perbedaan fungsi penggunaan serbuk kaca dalam campuran. Pada penelitian Dhana & Arif (2021), serbuk kaca sepenuhnya digunakan sebagai substitusi agregat halus, sedangkan dalam penelitian ini, sebagian digunakan sebagai bahan tambahan *(additive)* yang mendukung reaksi *pozzolanik* dan meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan proporsi dan fungsi serbuk kaca pada campuran beton secara signifikan memengaruhi nilai kuat tekan akhir. Secara umum, hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa pemanfaatan limbah kaca dalam bentuk serbuk dapat menjadi alternatif material tambahan yang ramah lingkungan, mampu meningkatkan mutu beton, serta berkontribusi dalam pengurangan limbah anorganik yang sulit terurai di lingkungan (Dhana & Arif, 2021).

5. Kesimpulan

Penggunaan//serbuk kaca sebagai bahan tambah dan subtitusi agregat halus memengaruhi gradasi agregat halus terjadi pergeseran kurva gradasi menuju zona agregat yang lebih halus. Hal ini karena ukuran partikel serbuk kaca jauh lebih kecil dibandingkan butiran pasir alami. Dengan demikian, kurva gradasi pada grafik saringan cenderung menyimpang ke arah butiran halus lebih ke kiri pada grafik. dan nilai *workability* dari beton, Dari hasil pengujian nilai *slump,* diketahui bahwa nilai optimum pemakaian serbuk kaca pada variasi 15% sebagai bahan tambah dan subtitusi mendapatkan nilai 11,50 cm dan 11,77 cm, pada variasi bahan tambah dan subtitusi yang lain mendapatkan nilai slump rata-rata 12,17 cm sampai 14 cm. Dapat diketahui bahwa pada campuran variasi tersebut campuran beton terlalu encer yang dapat menyebabkan beton susah dibentuk dan terjadi segresasi pemisahan butiran -butiran yang berat akan turun ke bawah sehingga semen banyak lebih condong berada ke atas pada campuran.

Berdasarkan hasil pengujian absorpsi pada beton dengan variasi penambahan dan subtitusi serbuk kaca sebesar 12%, 15%, dan 17%, diketahui bahwa nilai penyerapan air mendapatkan

nilai rata-rata 0,58% dan 0,88% cenderung mengalami penurunan jika dibandingkan dengan beton normal. Kondisi ini terjadi karena partikel serbuk kaca memiliki ukuran yang sangat halus, sehingga mampu mengisi rongga-rongga kosong dalam campuran beton secara lebih efektif. memiliki luas permukaan yang tinggi dan licin sehingga berpotensi beton menjadi lebih padat sehingga tidak menghasilkan rongga yang dapat menyerap air lebih sedikit. Lalu pada pengujian kuat tekan, penggunaan serbuk kaca yang paling optimum adalah pada variasi sebagai bahan tambah 15% dengan hasil 28,94 Mpa umur beton 28 hari, Variasi campuran ini memberikan hasil kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan campuran lainnya, dengan rata-rata antara 22–27 MPa pada umur 28 hari dari hasil pengujian yang diperoleh. HaI ini dikarenakan serbuk kaca memiliki kandungan mineral yang serupa dengan pasir dan massa jenis kaca lebih berat dari pasir sehingga membuat struktur beton menjadi lebih padat.

6. Referensi

Ahmad, J., & Zhou, Z. (2023). Development of high strength self compacting concrete with waste glass and waste marble. Construction and Building Materials, 408(October), 133760.

Bahadur, R., & Kumar Parashar, A. (2023). An investigation of waste glass powder with the substitution of sand on concrete mix. Materials Today: Proceedings,

Devi, D. S., Nurmeyliandari, R., & Pramadona, A. P. (2024). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton. Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil, 8(1), 74–82.

Dhana, R. R., & Arif, S. (2021). Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Subtitusi Agregat Halus untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton. Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 4(1), 203–214.

Fernando, V., Hunggurami, E., & Sir, T. M. W. (2023). Pengaruh Perawatan Beton(Curing)Menggunakan Water Curing dan Membrane Curing Terhadap Kuat Tekan Beton. Jurnal Teknik Sipil, 12(2), 137–144.

Hidayawanti Ranti, & Sofyan Muhammad. (2022). Pengaruh Variasi Faktor Air Semen pada Pemanfaatan Slag Mutu Beton Tingkat Tinggi. Jurnal Forum Mekanika, 11(1), 38–46.

Manikandan, P., & Vasugi, V. (2021). A Critical Review of Waste Glass Powder as an Aluminosilicate Source Material for Sustainable Geopolymer Concrete Production. Silicon, 13(10), 3649–3663.

Nura Diana, A. I., Fansuri, S., & Zainah, N. (2021). Bubuk Limbah Botol Kaca sebagai Pengganti Parsial Agregat Halus dalam Campuran Beton. Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil, 4(1), 27–34.

Pratama, R., Tamburaka, R. S. E., Mustika, W., & Sulha, S. (2022). Pengaruh Penambahan Limbah Botol Kaca Sebagai Subtitusi Agregat Halus Pada Nilai Kuat Tekan Beton. Media Konstruksi, 7(2), 121.

SNI 15-7064-2004. (2004). Semen Portland Komposit. Badan Standardisasi Nasional, 1–128.

SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan. Agregat Halus Dan Kasar. SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan.

SNI 03-1971-1990 Metode pengujian kadar air agregat.

SNI 03–1972–1990. Metode pengujian slump beton.

SNI 03-2834-2000. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal SNI.

SNI 03-4428-1997: Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastis dengan Cara Setara Pasir.

Wang, H. Z., Wen, B., Xu, P., Gao, G., Zhang, L., & Niu, D. (2025). Effect of CO2 curing on the strength and microstructure of composite waste glass concrete. Construction and Building Materials, 463(January), 140042.

Zeybek, Ö., Özkılıç, Y. O., Karalar, M., Çelik, A. İ., Qaidi, S., Ahmad, J., Burduhos-Nergis, D. D., & Burduhos-Nergis, D. P. (2022). Influence of Replacing Cement with Waste Glass on Mechanical Properties of Concrete. Materials, 15(21).