

Sifat Mekanik Beton dengan Substitusi Limbah Kaca dan Penambahan SikaCim Concrete Additive

Restu Anggara^{1*}, Hariyadi², Adryan Fitrayudha³

^{1,3}Universitas Muhammadiyah Mataram

²Universitas Mataram

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

agregat halus; beton mutu tinggi; kuat tekan; kuat tarik belah

***Correspondence email:**

restuanggara316@gmail.com

Submitted: 20 Juli 2026

Revised: 27 Juli 2026

Accepted: 01 Agustus 2026

Published: 03 Agustus 2026

ABSTRAK

Kebutuhan beton mutu tinggi di Indonesia terus meningkat, namun eksploitasi pasir alam sebagai agregat halus berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan sehingga diperlukan material alternatif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh substitusi limbah kaca terhadap sifat mekanik beton mutu tinggi (f'_c rencana 40 MPa) dengan bahan tambah SikaCim Concrete Additive. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan benda uji silinder (10×20 cm) pada variasi substitusi limbah kaca terhadap agregat halus sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%, meliputi pengujian slump, kuat tekan (Compression Testing Machine), dan kuat tarik belah pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil menunjukkan kuat tekan menurun konsisten seiring bertambahnya kadar substitusi, dari 37,66 MPa (beton normal) menjadi 35,37 MPa (10%), 34,01 MPa (20%), dan 33,67 MPa (30%), atau turun hingga 10,59%. Sebaliknya, kuat tarik belah menunjukkan pola non-monoton: menurun tajam pada substitusi 10% (3,56 MPa; turun 20,54%), kemudian meningkat pada 20% (3,74 MPa) dan 30% (4,30 MPa) mendekati beton normal (4,48 MPa), dengan rasio $f_t/\sqrt{f'_c}$ tertinggi pada substitusi 30% (0,741), melampaui beton normal (0,730). Disimpulkan bahwa dalam rentang substitusi 0–30%, limbah kaca belum menghasilkan titik optimum yang meningkatkan kuat tekan di atas beton normal, tetapi pada kadar 30% memberikan keseimbangan kuat tekan dan kuat tarik belah yang relatif lebih baik, sehingga evaluasi kelayakan penggunaan limbah kaca tidak dapat hanya didasarkan pada kuat tekan.

ABSTRACT

Keywords:

glass waste; fine aggregate; high-strength concrete; compressive strength; splitting tensile strength

The demand for high-strength concrete in Indonesia continues to grow, yet the exploitation of natural sand as fine aggregate poses a risk of environmental damage, creating a need for alternative materials. This study aims to analyze the effect of glass waste substitution on the mechanical properties of high-strength concrete (design f'_c of 40 MPa) with SikaCim Concrete Additive. The method used was a laboratory experiment on cylindrical specimens (10×20 cm) with glass waste substitution for fine aggregate at 0%, 10%, 20%, and 30%, including slump testing, compressive strength testing (Compression Testing Machine), and splitting tensile strength testing at 7, 14, 21, and 28 days. The results showed that compressive strength decreased consistently as the substitution level increased, from 37.66 MPa (normal concrete) to 35.37 MPa (10%), 34.01 MPa (20%), and 33.67 MPa (30%), a decline of up to 10.59%. In contrast, splitting tensile strength followed a non-monotonic pattern: it dropped sharply at 10% substitution (3.56 MPa; a 20.54% decrease), then rose again at 20% (3.74 MPa) and 30% (4.30 MPa), approaching the value of normal concrete (4.48 MPa), with the highest $f_t/\sqrt{f'_c}$ ratio occurring at 30% substitution (0.741), exceeding that of normal concrete (0.730). It is concluded that within the 0–30% substitution range, glass waste did not produce an optimum point that increased compressive strength above that of normal concrete, but at 30% it provided a relatively better balance between compressive and splitting tensile strength, indicating that the feasibility of using glass waste cannot be assessed from compressive strength alone.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan gedung, jembatan, jalan, dan berbagai infrastruktur lainnya karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, serta biaya produksi yang relatif ekonomis. Seiring dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia, kebutuhan beton mutu tinggi juga semakin meningkat karena mampu memberikan kapasitas struktur yang lebih besar, dimensi elemen struktur yang lebih ramping, serta durabilitas yang lebih baik dibandingkan beton normal. Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan agregat halus terus meningkat sehingga eksploitasi pasir alam semakin tinggi dan berpotensi menimbulkan

kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan material alternatif yang dapat menggantikan sebagian agregat halus tanpa menurunkan mutu beton (Wibowo & Anjarwati, 2025)

Limbah kaca merupakan salah satu jenis limbah anorganik yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada beton. Limbah kaca memiliki sifat sulit terurai secara alami sehingga apabila tidak dikelola dapat menyebabkan peningkatan jumlah limbah di lingkungan. Kandungan silika (SiO_2) yang terdapat dalam kaca menjadikan material ini memiliki karakteristik yang mendekati agregat halus sehingga dapat digunakan sebagai bahan alternatif dalam campuran beton. Pemanfaatan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus juga menjadi salah satu solusi untuk mengurangi penggunaan pasir alam serta mendukung konsep konstruksi ramah lingkungan (Muharram & Walujodjati, 2022; Olii dkk., 2021; Masnur dkk., 2025).

Penggunaan limbah kaca dalam campuran beton telah banyak dikaji terhadap pengaruhnya pada sifat mekanik beton, terutama kuat tekan. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dapat memberikan peningkatan kuat tekan pada persentase tertentu. Hal tersebut disebabkan oleh ukuran partikel kaca yang mampu mengisi rongga pada campuran beton sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat. Namun, penggunaan limbah kaca dengan kadar yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kuat tekan akibat berkurangnya ikatan antara pasta semen dengan agregat. Oleh karena itu, diperlukan penentuan persentase substitusi optimum agar diperoleh beton dengan sifat mekanik yang maksimal (Ode, Sahusilawane, & Marantika, 2024).

SikaCim Concrete Additive merupakan jenis bahan tambahan yang sering digunakan bahan tambahan beton (*admixture*) high range water reducing yang diformulasikan khusus untuk industri beton pracetak; untuk memenuhi kebutuhan pembukaan bekisting lebih cepat dan pencapaian kuat tekan awal lebih tinggi. Efektif pada semua rentang dosis yang direkomendasikan, Penggunaan Bahan Tambahan ini akan memberikan efek kenaikan kuat tekan beton sampai dengan 0,5-2% pada usia beton 28 hari dan meningkatkan kekedapan air dalam campuran beton (Irwansyah dkk., 2023).

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram menggunakan metode eksperimen. Benda uji berupa silinder beton berukuran diameter **10 cm dan tinggi 20 cm**. Variasi campuran terdiri atas beton normal, substitusi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% terhadap agregat halus. Beton normal tidak menggunakan SikaCim Concrete Additive, sedangkan campuran dengan substitusi limbah kaca menggunakan SikaCim sesuai komposisi pada Tabel 1. Oleh karena itu, hasil penelitian ini digunakan untuk membandingkan kinerja antarvariasi campuran dan belum dapat mengisolasi pengaruh limbah kaca secara individual.

Berdasarkan tujuan penelitian, metode yang digunakan adalah metode eksperimen (*experimental method*) dengan pengujian secara langsung di laboratorium. Penelitian berfokus pada pengaruh variasi persentase limbah kaca terhadap perubahan sifat mekanik beton mutu tinggi. Seluruh proses penelitian dilakukan melalui pembuatan campuran beton, pencetakan benda uji, perawatan (*curing*), serta pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah sesuai prosedur pengujian beton yang berlaku.

Sistematika penelitiannya adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan yaitu, Timbangan digital, Saringan, Wadah pencampur beton, Alat pengaduk beton, Wadah/nampan, Cetakan beton silinder 10 cm × 20 cm, Keranjang berat jenis kerikil, *Piknometer*, *Oven*, *Slump cone*, *Sieve shaker machine*, *Los Angeles abrasion machine*, *Compression Testing Machine*. Material yang digunakan ini meliputi semen Portland tipe I merek Tiga Roda sebagai bahan pengikat utama. Agregat halus yang dipakai berupa pasir sungai dengan ukuran butiran berkisar antara 0,15 mm hingga 4,8 mm sesuai standar SNI 03-2847-2002. Sementara itu, agregat kasar menggunakan kerikil batu pecah berukuran 40 mm yang juga mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2002. Air pencampur yang digunakan berasal dari air bersih laboratorium dan telah memenuhi persyaratan air untuk campuran beton berdasarkan SNI 2847:2019. Selain itu digunakan limbah kaca dan zat aditif (SikaCim Concrete) sebagai bahan tambahan dalam campuran beton.

2. Pengujian Material

Tujuan dari tahapan ini adalah untuk memastikan bahwa setiap material memenuhi persyaratan teknis dan standar kelayakan sebelum digunakan dalam perancangan campuran beton (*Job Mix Design*). Serangkaian

- Uji kadar lumpur
- Uji berat jenis
- Uji gradasi
- Uji berat volume
- Uji kadar air
- Uji abrasi (untuk agregat kasar)

3. Pencampuran Material Beton

Tahapan ini bertujuan untuk menentukan komposisi material dalam JMD (*job mix design*) yang paling tepat, sehingga beton yang dihasilkan memiliki kekuatan sesuai target perencanaan. Pada proses ini juga ditambahkan bahan aditif. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur berikut:

a. Pencampuran Beton

Tahapan ini bertujuan untuk menentukan komposisi material dalam JMD (*Job Mix Design*) yang paling tepat, sehingga beton yang dihasilkan memiliki kekuatan sesuai target perencanaan. Pada proses ini juga ditambahkan bahan aditif. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur pencampuran beton berikut. Dalam proses pencampuran beton, diperlukan perhitungan yang akurat terhadap jumlah dan proporsi setiap material. Oleh karena itu, penyusunan *Job Mix Design* (JMD) menjadi langkah penting agar campuran yang dihasilkan sesuai dengan mutu yang direncanakan. JMD merupakan komposisi campuran yang diuji serta ditetapkan oleh laboratorium terpercaya sebagai rancangan awal, dengan material yang berasal dari pemohon dan dijadikan acuan dalam pembuatan *Job Mix Formula* (Hidayat, Hadi, Fathoni, & Afrina, 2022). Pada penelitian ini, beton dirancang memiliki kuat tekan rencana sebesar $f'_c = 40 \text{ MPa}$. Untuk mencapai target tersebut, digunakan proporsi material tertentu yang meliputi semen, pasir, kerikil, serta bahan tambahan lain sesuai hasil perancangan JMD. Penelitian ini juga dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama yang meliputi perancangan campuran beton, pembuatan benda uji, perawatan, serta pengujian beton segar dan beton keras. Perancangan campuran beton (*mix design*) dilakukan menggunakan metode SNI 7656:2012 untuk memperoleh mutu beton yang direncanakan. Variasi penambahan zat adiktif *sikacim concrete* yang ditetapkan sebesar 0,5% – 2% terhadap volume beton. Adapun berat dari masing-masing kebutuhan bahan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Campuran Beton (*mix design*)

Variasi	Jumlah sampel	Limbah Kaca (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Semen (Kg)	Air (Liter)	Zat Aditif % Sikacim Concrete
BN	6	0	4,83	12,41	5,89	2,00	-
10%	6	0,48	4,34	12,41	5,89	1,85	44,21
20%	6	0,98	3,86	12,41	5,89	1,85	44,21
30%	6	1,45	3,38	12,41	5,89	1,85	44,21
Total	24	2,90	16,41	49,63	23,58	7,57	132,62

Sumber: Hasil pengujian, (2026)

4. Persiapan Uji Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi (*High Strength Concrete/HSC*) merupakan beton yang memiliki kuat tekan rencana lebih besar dari 41,4 MPa sesuai SNI 2847:2019. Pada penelitian ini beton dirancang dengan mutu rencana sebesar $f'_c = 40 \text{ MPa}$ menggunakan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% terhadap berat pasir. Sebelum dilakukan pencetakan benda uji, beton segar terlebih dahulu diuji menggunakan *Slump Test* untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Slump Test

Sumber: Dokumentasi Pribadi, (2026)

5. Uji Slump Test

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat konsistensi dan kemudahan pengerjaan (workability) beton segar. Pengujian dilakukan sesuai SNI 1972:2008 menggunakan kerucut Abrams (Abrams Cone), Peralatan yang digunakan kerucut Abrams, pelat baja datar, batang pemadat baja yang diameter **16 mm** panjang 600 mm, sendok semen, mistar baja, dan sekop. Berikut adalah tahapan pelaksanaannya:

- Kerucut Abrams dibersihkan terlebih dahulu kemudian dibasahi bagian dalamnya agar tidak menyerap air dari campuran beton.
 - Kerucut ditempatkan di atas pelat baja yang rata kemudian diinjak menggunakan kedua kaki agar tidak bergeser selama proses pengisian.
 - Beton segar dimasukkan ke dalam kerucut sebanyak tiga lapis dengan volume yang sama.
 - Setiap lapisan dipadatkan menggunakan batang pemadat sebanyak 25 tumbukan secara merata hingga mengenai lapisan sebelumnya.
 - Setelah lapisan ketiga selesai dipadatkan, permukaan beton diratakan menggunakan sendok semen sehingga sejajar dengan bibir kerucut.
 - Sisa beton yang menempel pada bagian luar cetakan dibersihkan.
 - Kerucut Abrams diangkat secara perlahan dalam posisi vertikal selama sekitar 5 ± 2 detik tanpa gerakan memutar.
 - Setelah beton mengalami penurunan, tinggi slump diukur menggunakan mistar sebagai selisih antara tinggi kerucut dan tinggi puncak beton.
 - Nilai slump dicatat dalam satuan milimeter (mm) sebagai indikator workability beton.
- ## 6. Pembuatan benda uji beton

Pembuatan benda uji dilakukan setelah campuran beton memenuhi nilai slump yang direncanakan, benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter **10 cm** × **tinggi 20 cm**. Berikut adalah tahapan Pelaksanaannya:

- Cetakan silinder dibersihkan kemudian diberi lapisan oli tipis pada permukaan bagian dalam agar beton mudah dilepaskan setelah mengeras.
 - Seluruh material ditimbang sesuai variasi campuran yang telah direncanakan.
 - Agregat kasar, agregat halus, limbah kaca, dan semen dicampurkan terlebih dahulu dalam concrete mixer hingga merata.
 - Air pencampur dimasukkan secara bertahap sambil mixer tetap berputar.
 - Apabila digunakan superplasticizer, bahan tersebut dicampurkan bersama sebagian air pencampur sesuai dosis yang telah ditentukan.
 - Campuran diaduk selama kurang lebih 3–5 menit hingga diperoleh campuran yang homogen.
 - Beton segar dimasukkan ke dalam cetakan sebanyak tiga lapis.
 - Masing-masing lapisan dipadatkan sebanyak 25 kali tumbukan menggunakan batang pemadat.
 - Setelah lapisan terakhir selesai dipadatkan, permukaan beton diratakan menggunakan sendok semen.
 - Cetakan diberi kode sesuai variasi limbah kaca dan umur pengujian.
 - Benda uji disimpan pada ruangan laboratorium selama 24 ± 2 jam sebelum dilakukan pembongkaran cetakan.
- ## 7. Perawatan Benda uji

Perawatan beton dilakukan untuk menjaga proses hidrasi semen sehingga perkembangan kekuatan beton berlangsung secara optimal, setelah benda uji berumur 24 jam, cetakan dibuka secara hati-hati agar tidak merusak permukaan beton. Selanjutnya benda uji dimasukkan ke dalam bak curing yang berisi air bersih hingga seluruh bagian beton terendam. Perawatan dilakukan sampai benda uji mencapai umur perendaman selama 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Selama proses curing suhu air dijaga mendekati suhu ruang laboratorium yaitu sekitar **23–27°C**. Air dalam bak perendaman diganti secara berkala apabila terlihat keruh agar kualitas proses perawatan tetap terjaga. Perawatan beton bertujuan mempertahankan kelembapan beton sehingga reaksi hidrasi semen berlangsung sempurna dan menghasilkan kuat tekan serta kuat tarik yang maksimal.

8. Uji Kuat Tekan Beton

Sebelum dilakukan pengujian, beton silinder terlebih dahulu dilapisi belerang pada bagian atas dan bawah agar permukaannya rata saat bersentuhan dengan alat uji tekan. Pengujian kuat tekan dilakukan sesuai SNI 1974:2011 (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Tahapan pengujian kuat tekan beton silinder meliputi:

- Spesimen beton silinder diambil dari bak perendaman setelah mencapai umur hari, yaitu 7, 14, 21, dan 28.
- Permukaan beton dibersihkan dari sisa air maupun kotoran, kemudian dikeringkan agar tidak licin ketika ditempatkan di mesin uji.
- Dimensi dan berat benda uji diukur, terutama diameter serta tinggi, untuk memastikan kesesuaian standar.
- Beton silinder diletakkan di tengah pelat mesin uji dengan posisi tegak lurus dan simetris terhadap bidang tekan.
- Mesin uji dijalankan dengan memberikan beban secara perlahan dan merata hingga benda uji hancur.

- f. Alat secara otomatis mencatat gaya maksimum (P) yang dicapai saat benda uji mengalami kerusakan, dalam satuan (KN).
 - g. Nilai kuat tekan (f'_c) dihitung menggunakan rumus dalam persamaan 2 sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Dengan:
 f'_c = kuat tekan beton (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 A = luas penampang silinder (mm^2)
 - h. Hasil perhitungan kuat tekan dari seluruh variasi limbah kaca kemudian dibandingkan dengan standar mutu beton (misalnya K-500 = **40 Mpa**) untuk mengetahui pengaruh substitusi agregat halus terhadap peningkatan maupun penurunan kekuatan beton mutu tinggi.
9. Uji Kuat Tarik Belah
- Sebelum dilakukan pengujian, beton silinder dipersiapkan terlebih dahulu agar hasil benda uji akurat. Pengujian kuat tarik belah dilakukan mengacu pada SNI 2491:2014 tentang metode uji kuat tarik belah beton (Badan Standardisasi Nasional, 2014). Tahapan pengujian kuat tarik belah beton silinder meliputi:
- a. Spesimen beton silinder diambil dari bak perendaman setelah mencapai umur hari, yaitu 7, 14, 21, dan 28.
 - b. Permukaan beton dibersihkan dari sisa air maupun kotoran, kemudian dikeringkan agar tidak licin ketika ditempatkan di mesin uji.
 - c. Dimensi dan berat benda uji diukur, terutama diameter serta tinggi, untuk memastikan kesesuaian standar
 - d. Beton silinder diletakkan di tengah pelat mesin uji dengan posisi horizontal tepat di tengah mesin CTM.
 - e. Mesin uji dijalankan dengan memberikan beban secara perlahan dan merata hingga benda uji hancur.
 - f. Alat secara otomatis mencatat gaya maksimum (P) yang dicapai saat benda uji mengalami kerusakan, dalam satuan (KN).
 - g. Nilai kuat tarik belah (f_{ct}) dihitung menggunakan rumus dalam persamaan sebagai berikut:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$$

Dengan:
 f_{ct} = kuat tarik belah beton (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 L = panjang benda uji (mm)
 D = diameter benda uji (mm)
 - h. Hasil perhitungan kuat belah dari seluruh variasi limbah kaca kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara persentase substitusi limbah kaca terhadap perubahan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton mutu tinggi.

HASIL

Berikut disajikan hasil pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram (UMMAT). Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian beton sesuai dengan variabel penelitian, dan hasilnya dianalisis serta disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pengujian sifat fisik agregat halus dan agregat kasar dalam penelitian ini meliputi pengujian kadar air, berat jenis, penyerapan air, dan gradasi agregat yang seluruhnya mengacu pada SK SNI S-04-1989-F. Nilai kuat tekan dan kuat tarik belah yang disajikan merupakan nilai rata-rata hasil pengujian beton pada umur 21 hari. Adapun hasil pengujian sifat fisik bahan ditampilkan pada Tabel 2

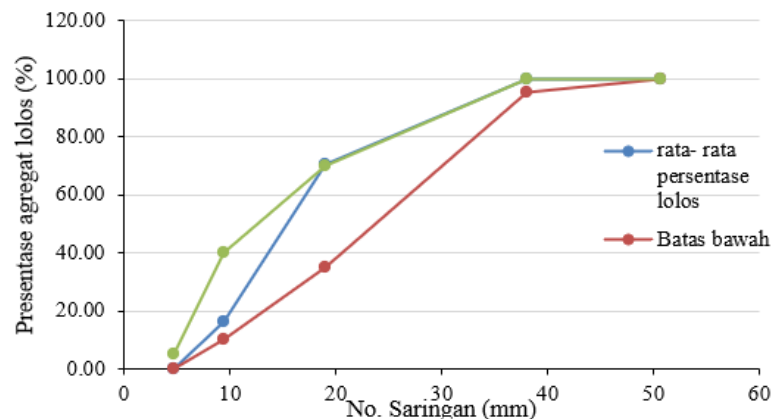
Tabel 2. Hasil Pengujian Fisik Material

No	Material	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat	Keterangan
1	Agregat Halus	Berat Jenis	2,4	1,6 - 3,2	Oke
2	Agregat Kasar	Berat Jenis	2,5	1,6 - 3,2	Oke
3	Agregat Kasar	Abrasi	18,038	<40%	Oke
4	Agregat Halus	Kadar Lumpur	2,60%	5%	Oke
5	Agregat Kasar	Kadar Lumpur	2,31%	>1%	Oke

Sumber: Hasil Data Olahan, (2026)

Salah satu hal yang penting untuk diketahui dari karakteristik pasir yang akan digunakan pada beton adalah daerah gradasi pasir. Hasil pengujian saringan agregat kasar ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan grafik tersebut, pasir yang digunakan termasuk ke dalam gradasi Zona III (pasir sedang) sesuai SNI 03-2834-2000 dan berasal dari pasir sungai lokal yang memenuhi persyaratan sebagai agregat halus beton, sedangkan agregat kasar yang digunakan

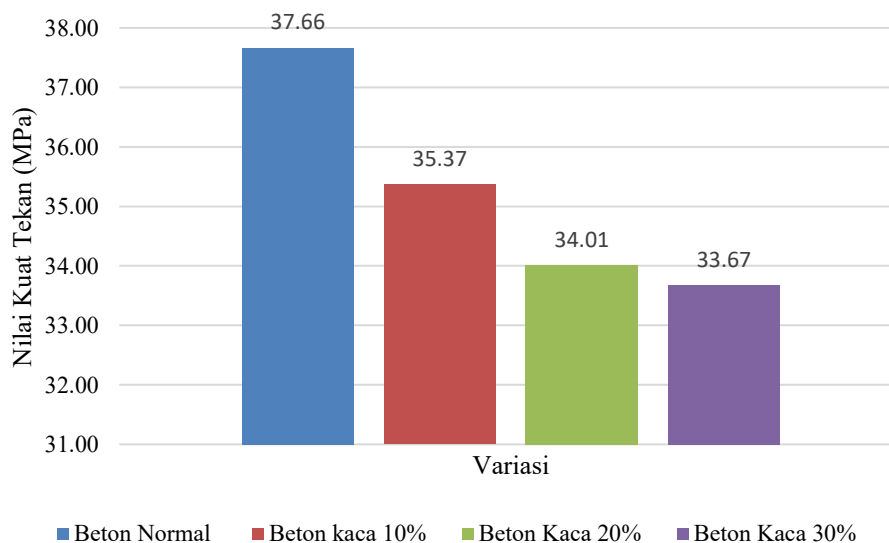
termasuk ke dalam ukuran maksimum 40 mm sesuai standar yang sama dan berasal dari agregat kasar batu pecah yang memenuhi persyaratan sebagai agregat kasar beton (Badan Standardisasi Nasional, 2000).



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Saringan

Sumber: Hasil Pengujian (2026)

Hasil pengujian saringan agregat kasar ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan grafik tersebut, agregat kasar yang digunakan termasuk ke dalam ukuran maksimum 40 mm sesuai SNI 03-2834-2000 dan berasal dari agregat kasar batu pecah yang memenuhi persyaratan sebagai agregat kasar beton. Pengujian dilakukan setelah beton menjalani proses perawatan dan mencapai umur 21 hari. Hasil pengujian sifat mekanis beton mutu tinggi dan beton dengan penambahan limbah kaca dapat dilihat pada Gambar 2.



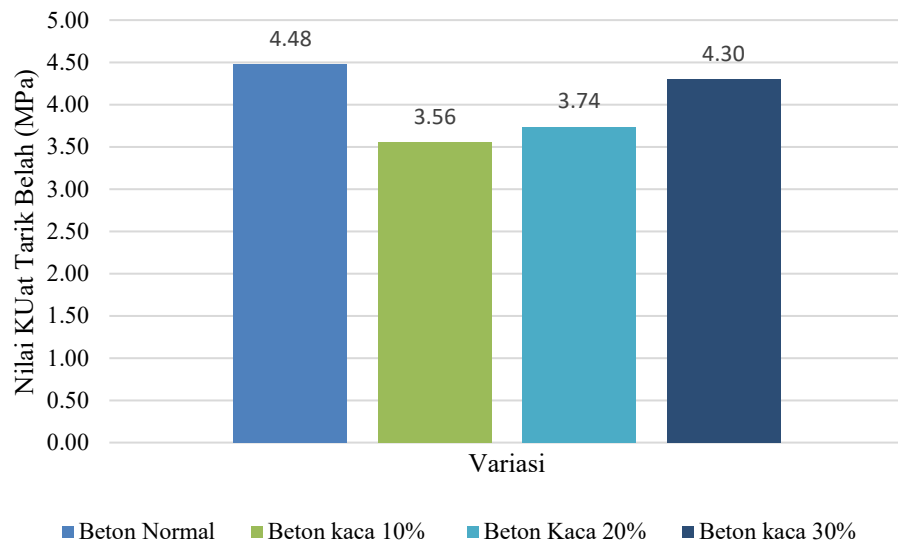
Gambar 3. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Sumber: Hasil Pengujian (2026)

Berdasarkan hasil uji kuat tekan yang dilakukan menggunakan Compression Testing Machine (CTM), diperoleh bahwa penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton SNI 1974:2011. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 37,66 MPa, sedangkan beton mutu tinggi dengan substitusi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% masing-masing memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 35,37 MPa, 34,01 MPa, dan 33,67 MPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa beton normal menghasilkan kuat tekan tertinggi dibandingkan variasi 10% lainnya.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik belah, penggunaan limbah kaca juga memberikan pengaruh terhadap kemampuan beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung. Nilai kuat tarik belah rata-rata beton normal sebesar 4,48 MPa, sedangkan beton mutu tinggi dengan substitusi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% berturut-turut sebesar 3,56 MPa, 3,74 MPa, dan 4,30 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa beton normal memberikan nilai kuat tarik belah tinggi dibandingkan 30% variasi lainnya.

Untuk mempermudah penyajian dan analisis data, nilai rata-rata hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dari setiap variasi campuran ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kuat Tarik Belah

Sumber: Hasil Pengujian (2026)

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus pada beton mutu tinggi dengan bahan tambah SikaCim Concrete Additive memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah. Kuat tekan cenderung menurun secara konsisten seiring bertambahnya kadar substitusi limbah kaca, dari 37,66 MPa pada beton normal hingga 33,67 MPa pada substitusi 30% (turun 10,59%), sedangkan kuat tarik belah menunjukkan pola non-monoton dengan titik terendah pada substitusi 10% (3,56 MPa, turun 20,54%) sebelum kembali meningkat pada substitusi 20% dan 30% hingga mendekati nilai beton normal.

Kecenderungan penurunan kuat tekan akibat penambahan limbah kaca sejalan dengan temuan Wibowo dan Anjarwati (2025), yang melaporkan penurunan kuat tekan dari 321,1 kg/cm² (setara sekitar 31,5 MPa) pada beton normal menjadi 308,2 kg/cm² (setara sekitar 30,2 MPa), atau turun sekitar 4%, pada beton yang disubstitusi limbah kaca dan granit, meskipun besaran penurunan pada penelitian tersebut lebih kecil dibandingkan penelitian ini. Perbedaan besaran penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis beton (mutu tinggi pada penelitian ini dibandingkan mutu normal pada penelitian pembanding) serta perbedaan proporsi dan jenis material substitusi yang digunakan. Pola perubahan kekuatan pada kadar substitusi rendah hingga sedang juga sejalan dengan temuan Ode, Sahusilawane, dan Marantika (2024), yang melaporkan bahwa penambahan serbuk kaca pada kadar rendah (2,5%) dapat meningkatkan kuat tekan beton di atas beton normal, namun kuat tekan kembali menurun seiring bertambahnya kadar serbuk kaca. Meskipun rentang persentase yang diuji berbeda 2,5–5% pada penelitian tersebut dibandingkan 10–30% pada penelitian ini), pola umum berupa efek yang berbalik arah pada kadar substitusi yang lebih tinggi menunjukkan adanya konsistensi mekanisme antar penelitian.

Penurunan kuat tekan yang konsisten pada penelitian ini kemungkinan disebabkan oleh permukaan limbah kaca yang licin dan tidak menyerap air (non-absorptive), yang melemahkan ikatan mekanis antara pasta semen dan agregat pada zona transisi antarmuka (interfacial transition zone/ITZ) seiring bertambahnya proporsi kaca dalam campuran. Di sisi lain, penggunaan SikaCim Concrete Additive pada variasi bersubstitusi kaca turut berkontribusi terhadap kinerja mekanik beton, sebagaimana dilaporkan Irwansyah dkk. (2023) yang mencatat kenaikan kuat tekan beton normal sebesar 1,2% pada salah satu variasi dosis SikaCim Concrete Additive. Kontribusi tersebut tampak tidak cukup untuk mengimbangi efek negatif dari peningkatan kadar limbah kaca terhadap kuat tekan pada penelitian ini, sehingga secara keseluruhan tren kuat tekan tetap menurun. Perlu dicatat bahwa SikaCim Concrete Additive pada penelitian ini hanya digunakan pada variasi bersubstitusi limbah kaca (10%, 20%, dan 30%) dan tidak digunakan pada beton normal (BN) sebagai kontrol, sehingga perbandingan antara BN dan variasi lainnya tidak murni mengisolasi pengaruh limbah kaca semata, melainkan juga dipengaruhi oleh keberadaan bahan tambah tersebut.

Pola berbeda pada kuat tarik belah, yang membaik pada substitusi 20% dan 30% setelah sebelumnya menurun tajam pada substitusi 10%, mengindikasikan bahwa mekanisme yang mengendalikan ketahanan terhadap gaya tarik tidak langsung tidak sepenuhnya sama dengan mekanisme yang mengendalikan kuat tekan. Salah satu kemungkinan penjelasannya adalah peran limbah kaca sebagai pengisi rongga (filler) pada kadar yang lebih tinggi, yang dapat

memperbaiki kepadatan matriks beton dan mengurangi konsentrasi tegangan pada bidang retak, meskipun kekuatan tekan matriks secara keseluruhan tetap menurun. Rasio $f_t/\sqrt{f_c}$ yang mencapai nilai tertinggi pada substitusi 30% (0,741), melampaui rasio pada beton normal (0,730), memperkuat indikasi bahwa pada kadar substitusi tersebut beton memiliki keseimbangan yang relatif lebih baik antara kekuatan tekan dan tarik dibandingkan variasi 10% dan 20%. Temuan mengenai perubahan kuat tarik belah akibat penggunaan limbah kaca juga telah dilaporkan oleh Prasetyo dkk. (2020), meskipun hasil pengujiannya dipengaruhi oleh komposisi campuran, persentase limbah kaca, dan penggunaan bahan tambahan lainnya.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian pada penelitian lanjutan. Pertama, penggunaan SikaCim Concrete Additive yang tidak diterapkan pada beton normal sebagai kontrol menyebabkan perbandingan antara BN dan variasi bersubstitusi kaca tidak murni mengisolasi pengaruh limbah kaca. Kedua, rentang substitusi yang diuji terbatas pada 0-30%, sehingga belum dapat dipastikan apakah tren peningkatan kuat tarik belah pada kadar 20-30% akan berlanjut pada kadar yang lebih tinggi atau justru berbalik menurun. Ketiga, penelitian ini belum melaporkan nilai simpangan baku maupun hasil uji statistik antar variasi, sehingga signifikansi perbedaan yang teramati antar variasi belum dapat dipastikan secara statistik. Keempat, penelitian ini belum mengevaluasi aspek durabilitas jangka panjang, khususnya potensi reaksi alkali-silika (ASR) yang berpotensi timbul akibat kandungan silika amorf pada limbah kaca.

Meskipun demikian, temuan penelitian ini memberikan implikasi praktis bahwa evaluasi kelayakan penggunaan limbah kaca pada beton mutu tinggi tidak dapat hanya didasarkan pada hasil uji kuat tekan, melainkan perlu mempertimbangkan kuat tarik belah secara khusus, mengingat kedua parameter tersebut menunjukkan pola pengaruh yang berbeda terhadap kadar substitusi limbah kaca. Bagi elemen struktur yang peka terhadap gaya tarik, seperti pelat atau balok pada kondisi servis, kadar substitusi 30% pada penelitian ini menunjukkan keseimbangan kuat tekan dan kuat tarik belah yang relatif lebih baik dibandingkan kadar 10% dan 20%, meskipun kuat tekan pada kadar tersebut berada pada titik terendah di antara seluruh variasi yang diuji.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, beton normal menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 37,66 MPa dan kuat tarik belah sebesar 4,48 MPa. Campuran dengan substitusi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% serta penambahan SikaCim Concrete Additive menghasilkan kuat tekan masing-masing sebesar 35,37 MPa, 34,01 MPa, dan 33,67 MPa. Kuat tarik belah masing-masing campuran tersebut sebesar 3,56 MPa, 3,74 MPa, dan 4,30 MPa. Kuat tekan cenderung menurun seiring meningkatnya persentase substitusi limbah kaca, sedangkan kuat tarik belah meningkat kembali pada variasi 20% dan 30%. Seluruh campuran belum mencapai kuat tekan rencana sebesar **40 MPa**. Karena beton normal tidak menggunakan SikaCim, sedangkan campuran bersubstitusi limbah kaca menggunakan SikaCim, hasil penelitian ini belum dapat menunjukkan pengaruh limbah kaca secara individual. Temuan penelitian ini harus dipahami sebagai perbandingan kinerja beton normal dengan beton yang menggunakan kombinasi limbah kaca dan SikaCim Concrete Additive.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 1989. SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam). Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2000. SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002. SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2008. SNI 1972:2008: Cara Uji Slump Beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. SNI 1974:2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012. SNI 7656:2012: Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2014. SNI 2491:2014: Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN.
- Hidayat, A., Hadi, N., Fathoni, A. and Afrina, Y., 2022. Job Mix Design Beton K-250 Menggunakan Metode American Concrete Institute. *Aptek: Jurnal Aplikasi Teknologi*, 15(1), pp.71-74.
- Irwansyah, E., Purba, H. and Sitorus, R., 2023. Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Bahan Tambahan Sikacim. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 12(2), pp.270-279. <https://doi.org/10.46930/tekniksipil.v12i2.3596>

- Masnur, Rahmawati and Widarto, H., 2025. Analisis Karakteristik Beton dengan Variasi Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus pada Beton Berkelanjutan. *Jurnal Teknik SILITEK*, 5(02), pp.685-693.
- Muharram, M.F. and Walujodjati, E., 2022. Pengaruh Penggunaan Fly Ash sebagai Substitusi Semen dan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Konstruksi*, 19(2), pp.310-317. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-2.917>
- Ode, T., Sahusilawane, T. and Marantika, M., 2024. Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Journal Agregate*, 3(1), pp.1-6. <https://doi.org/10.59837/jpnmb.v1i7.141>
- Olii, M.R., Poe, I.E., Ichsan, I. and Olii, A., 2021. Limbah Kaca sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus untuk Beton Ramah Lingkungan. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), pp.113-124. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.407>
- Prasetyo, C.D., Sunarsih, E.S. and Sucipto, T.L.A., 2020. Kajian Pemanfaatan Limbah Kaca sebagai Pengganti Agregat Halus dan Fly Ash 30% dari Berat Semen Ditinjau dari Kuat Tarik Belah, Daya Serap dan Porositas Beton. *IJCEE: Indonesian Journal of Civil Engineering Education*, 6(2), pp.65-77. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v6i2.53672>
- Wibowo, M.A. and Anjarwati, S., 2025. Pemanfaatan Limbah Kaca dan Granit Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Kasar Terhadap Properties Beton. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 20(1). <https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i2.54293>