

Pengaruh Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus terhadap Sifat Mekanik Beton Normal

Haulida Isnaini^{1*}, Hariyadi², Maya Saridewi Pascanawaty³

^{1,3}Universitas Muhammadiyah Mataram,

²Universitas Mataram

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

beton normal; limbah kaca; substitusi agregat halus; kuat tekan; kuat tarik belah.

***Correspondence email:**

Haulida1704@gmail.com

Submitted: 20 Juli 2026

Revised: 27 Juli 2026

Accepted: 01 Agustus 2026

Published: 03 Agustus 2026

ABSTRAK

Peningkatan pembangunan konstruksi menyebabkan kebutuhan agregat alam terus meningkat, sementara limbah kaca yang sulit terurai semakin banyak dihasilkan dan berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus pada campuran beton normal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap sifat mekanik beton normal yang meliputi kuat tekan dan kuat tarik belah. Penelitian menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram dengan benda uji berbentuk silinder berukuran 100 mm × 200 mm. Variasi substitusi limbah kaca yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% dari berat agregat halus. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada umur beton 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton normal sebesar 16,22 MPa, sedangkan pada variasi substitusi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% berturut-turut sebesar 26,37 MPa, 21,74 MPa, dan 20,34 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 10%. Sementara itu, kuat tarik belah rata-rata beton normal sebesar 2,01 MPa, sedangkan pada variasi 10%, 20%, dan 30% berturut-turut sebesar 2,99 MPa, 2,48 MPa, dan 2,20 MPa. Nilai kuat tarik belah tertinggi juga diperoleh pada variasi 10%. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus sebesar 10% memberikan peningkatan sifat mekanik beton yang paling optimal serta berpotensi menjadi alternatif material ramah lingkungan dalam mendukung pembangunan konstruksi berkelanjutan.

ABSTRACT

Keywords:

normal concrete; glass waste; fine aggregate substitution; compressive strength; splitting tensile strength.

The increasing development of the construction industry has led to a growing demand for natural aggregates, while the accumulation of non-biodegradable waste glass continues to increase, posing potential environmental problems. One effort to reduce these impacts is to utilize waste glass as a partial substitute for fine aggregate in normal concrete mixtures. This study aimed to analyze the effect of waste glass as a partial replacement for fine aggregate on the mechanical properties of normal concrete, including compressive strength and splitting tensile strength. An experimental method was employed at the Civil Engineering Laboratory of Universitas Muhammadiyah Mataram using cylindrical concrete specimens with dimensions of 100 mm × 200 mm. The waste glass substitution levels were 0%, 10%, 20%, and 30% by weight of fine aggregate. Compressive strength and splitting tensile strength tests were conducted at the age of 28 days using a *Compression Testing Machine* (CTM). The results showed that the average compressive strength of normal concrete was 16.22 MPa, while the concrete containing 10%, 20%, and 30% waste glass achieved average compressive strengths of 26.37 MPa, 21.74 MPa, and 20.34 MPa, respectively. The highest compressive strength was obtained at the 10% substitution level. Meanwhile, the average splitting tensile strength of normal concrete was 2.01 MPa, whereas the concrete containing 10%, 20%, and 30% waste glass produced average splitting tensile strengths of 2.99 MPa, 2.48 MPa, and 2.20 MPa, respectively. The highest splitting tensile strength was also achieved at the 10% substitution level. Based on these findings, the use of 10% waste glass as a partial replacement for fine aggregate provides the most optimal improvement in the mechanical properties of normal concrete and has the potential to serve as an environmentally friendly alternative material for sustainable construction.

PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan konstruksi menyebabkan kebutuhan agregat alam semakin meningkat, sementara limbah kaca yang sulit terurai terus bertambah dan berpotensi mencemari lingkungan. Kondisi tersebut mendorong

pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah sebagai bahan penyusun beton. Pemanfaatan limbah sebagai material alternatif diharapkan mampu mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus tetap menghasilkan beton dengan sifat mekanik yang baik (Syah et al., 2024).

Pertumbuhan sektor konstruksi di Indonesia yang semakin pesat telah meningkatkan penggunaan beton sebagai material utama dalam pembangunan berbagai jenis struktur. Hal tersebut terlihat dari meningkatnya jumlah proyek pembangunan infrastruktur dan gedung yang menggunakan beton karena memiliki karakteristik yang sesuai untuk kebutuhan konstruksi. Beton dikenal memiliki kemampuan menahan beban tekan yang tinggi, tahan terhadap paparan api, serta memiliki tingkat durabilitas yang baik sehingga banyak digunakan sebagai material struktural. Pada dasarnya, beton merupakan material komposit yang tersusun atas campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang melalui proses hidrasi akan membentuk massa padat dengan kekuatan yang memadai (Tangkelayuk et al., 2024).

Namun demikian, perkembangan pembangunan yang semakin pesat juga berkontribusi terhadap meningkatnya volume limbah yang dihasilkan oleh berbagai aktivitas industri maupun rumah tangga. Peningkatan jumlah limbah tersebut sering kali belum diimbangi dengan pengelolaan yang efektif sehingga berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Limbah merupakan sisa material dari suatu kegiatan yang tidak lagi dimanfaatkan dan apabila tidak ditangani dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta mengganggu keseimbangan ekosistem. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan alternatif pada campuran beton. Pemanfaatan limbah dalam bidang konstruksi diharapkan dapat mengurangi eksploitasi sumber daya alam sekaligus mendukung pengembangan material bangunan yang lebih berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (Olii et al., 2021).

Beton merupakan salah satu material komposit yang paling banyak digunakan dalam bidang konstruksi karena memiliki sifat mekanik yang baik, daya tahan yang tinggi, serta kemudahan dalam proses pembentukannya. Kinerja beton dipengaruhi oleh kualitas material penyusun, proporsi campuran, serta proses hidrasi semen yang membentuk ikatan kuat antara pasta semen dan agregat (Mehta & Monteiro, 2014). Perubahan nilai kuat tekan beton dipengaruhi oleh kualitas ikatan antara pasta semen, agregat, dan material tambahan. Ikatan yang baik akan menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata sehingga mampu meningkatkan kemampuan beton dalam menahan beban tekan (Alexander et al., 2017). Beton memiliki keunggulan berupa kuat tekan yang tinggi, namun memiliki kuat tarik yang relatif rendah sehingga mudah mengalami retak apabila menerima gaya tarik. Oleh karena itu, berbagai penelitian dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik beton melalui modifikasi material penyusunnya (Neville, 2012). Secara umum, beton tersusun atas campuran agregat halus dan agregat kasar, seperti pasir dan batu pecah, yang diikat oleh pasta semen hasil pencampuran semen dan air. Agregat merupakan komponen utama dalam campuran beton dengan proporsi sekitar 60–75% dari total volume beton, sehingga karakteristik agregat sangat memengaruhi mutu beton yang dihasilkan (Tjokrodinuljo, 2007). Semen berfungsi sebagai bahan pengikat utama, sedangkan air berperan dalam memicu reaksi hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang menghasilkan senyawa pengikat sehingga campuran beton mengalami proses pengikatan, pengerasan, dan perkembangan kekuatan selama masa perawatan (curing). Kualitas beton yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh komposisi penyusunnya, mutu bahan yang digunakan, serta proporsi campuran yang diterapkan (Oktarina et al., 2018). Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan material konstruksi yang berkelanjutan, berbagai penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan limbah sebagai bahan penyusun beton, salah satunya adalah limbah kaca. Limbah kaca yang telah dihancurkan menjadi serbuk atau butiran halus berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian agregat. Oleh karena itu, penggunaan limbah kaca sebagai bahan substitusi agregat halus menjadi alternatif yang potensial untuk menghasilkan beton yang tidak hanya memiliki kinerja mekanik yang baik, tetapi juga lebih ramah terhadap lingkungan. Beton memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menahan beban tekan, namun memiliki kuat tarik yang relatif rendah sehingga rentan mengalami retak apabila menerima gaya tarik. Oleh karena itu, berbagai penelitian dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik beton melalui modifikasi material penyusunnya (Neville, 2012). Mutu beton yang dihasilkan sangat ditentukan oleh perbandingan dan komposisi bahan-bahan penyusunnya, terutama rasio air terhadap semen. Selain komposisi material, faktor air semen (FAS) juga menjadi salah satu parameter yang sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton. Penggunaan nilai FAS yang tepat akan menghasilkan beton dengan struktur yang lebih padat dan kekuatan yang lebih baik (Azizudin et al., 2020).

Kegiatan produksi di sektor industri maupun rumah tangga menghasilkan berbagai jenis limbah, baik dalam bentuk padat maupun cair. Peningkatan aktivitas tersebut menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin besar dari waktu ke waktu. Sebagian limbah dapat dimanfaatkan kembali melalui proses pengolahan atau daur ulang sehingga memiliki nilai ekonomis dan mampu mengurangi beban lingkungan. Akan tetapi, masih banyak limbah yang dibuang tanpa pengelolaan yang tepat sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Pembuangan limbah pada lahan terbuka, aliran sungai, maupun lokasi pembuangan yang tidak sesuai dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Salah satu limbah padat yang banyak dijumpai di kawasan perkotaan adalah limbah kaca, baik berupa pecahan kaca maupun serbuk hasil pengolahan. Karena memiliki sifat sulit terdegradasi secara alami, limbah kaca cenderung terakumulasi di lingkungan apabila tidak dimanfaatkan kembali. Oleh sebab itu,

pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton menjadi salah satu alternatif yang dapat mendukung pengurangan limbah sekaligus mengoptimalkan penggunaan material dalam bidang konstruksi (Sudjati & Yuliyanti, 2014).

Perkembangan sektor industri dan pembangunan yang semakin pesat turut berkontribusi terhadap peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan, baik dari aktivitas rumah tangga maupun industri. Apabila limbah tersebut tidak dikelola secara tepat, maka dapat menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah, air, dan udara. Salah satu jenis limbah anorganik yang banyak dihasilkan adalah limbah kaca, yang memiliki sifat tidak mudah terurai secara alami sehingga berpotensi menumpuk di lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemanfaatan kembali limbah kaca sebagai material yang memiliki nilai guna, salah satunya melalui penggunaannya sebagai bahan substitusi agregat halus pada campuran beton. Pemanfaatan limbah kaca dalam bidang konstruksi diharapkan tidak hanya mampu mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan, tetapi juga dapat menekan penggunaan agregat alam serta mendukung penerapan konsep konstruksi berkelanjutan (Ramadan, 2020).

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Benda uji yang digunakan berupa beton berbentuk silinder berukuran 100 mm × 200 mm. Variasi substitusi limbah kaca yang digunakan adalah sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% yang dihitung berdasarkan massa agregat halus (pasir) sebagai pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton. Persentase tersebut tidak dihitung berdasarkan volume benda uji beton, sedangkan komposisi material lainnya, yaitu semen, agregat kasar, dan air, dipertahankan sesuai hasil perancangan Job Mix Design. 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 normal. 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. Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan 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 x 20 cm, Keranjang berat jenis kerikil, Piknometer, Oven, Slump cone, Sieve shaker machine, Los Angeles abrasion machine, Compression Testing Machine. Bahan yang digunakan meliputi, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen, air, dan limbah kaca.
2. Pengujian Material Tujuan dari tahap ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh material yang digunakan telah memenuhi persyaratan teknis serta standar kelayakan sebelum diterapkan dalam perancangan campuran beton (*Job Mix Design*). Untuk menjamin mutu dan kesesuaian bahan penyusun beton, dilakukan serangkaian pengujian terhadap agregat halus maupun agregat kasar. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan kualitas agregat agar campuran beton yang dihasilkan memenuhi kriteria yang direncanakan. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:
 - a. Uji kadar air
 - b. Uji kadar lumpur
 - c. Uji berat jenis
 - d. Uji saringan
 - e. Uji berat volume
3. Pencampuran Material Beton Tahap ini bertujuan untuk menentukan komposisi campuran beton (*Job Mix Design* atau *JMD*) yang sesuai dengan mutu rencana, termasuk variasi penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus. Perancangan campuran dilakukan agar beton yang dihasilkan memenuhi kuat tekan dan kuat tarik belah yang ditargetkan serta memiliki karakteristik yang sesuai untuk pengujian beton normal. Setelah komposisi campuran ditetapkan, dilakukan pembuatan benda uji berbentuk silinder sesuai prosedur dan standar yang berlaku. Proses pencampuran beton diawali dengan penentuan proporsi setiap material penyusun melalui perancangan campuran beton (*Job Mix Design* atau *JMD*). Perancangan ini bertujuan untuk memperoleh komposisi campuran yang mampu menghasilkan mutu beton sesuai dengan kuat tekan rencana serta memenuhi persyaratan teknis yang berlaku. Penyusunan Job Mix Design dilakukan berdasarkan metode SNI 7656:2012 tentang tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, sehingga diperoleh proporsi semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang sesuai dengan mutu beton yang direncanakan. Pada penelitian ini, beton dirancang dengan kuat tekan rencana sebesar $f'_c = 36,48$ MPa. Variasi penelitian dilakukan dengan mengganti sebagian agregat halus menggunakan limbah kaca yang telah dihancurkan hingga memenuhi gradasi agregat halus. Persentase penggantian limbah kaca sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% sebagai pengganti agregat halus, sedangkan material lainnya, seperti semen, agregat kasar, dan air, dipertahankan sesuai hasil perancangan Job Mix Design.

Tabel 1. Data Campuran Beton (*Mix Design*)

Benda uji	Jumlah sampel	Limbah kaca (kg)	Semen (kg)	Air (liter)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
Beton Normal	6	0	6,57	4,00	13,14	22,86
Beton Kaca 10%	6	1,314	6,57	4,00	11,79	22,86
Beton Kaca 20%	6	2,628	6,57	4,00	10,53	22,86
Beton Kaca 30%	6	3,933	6,57	4,00	9,18	22,86
Total	24	7,875	26,28	16,00	44,64	91,44

Sumber: Data Olahan (2026)

- Persiapan Uji Slump Uji slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar sebelum dilakukan proses pencetakan benda uji. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa campuran beton memiliki konsistensi yang sesuai sehingga mudah dikerjakan, diangkut, dipadatkan, dan dicetak tanpa mengalami segregasi maupun bleeding. Pada penelitian ini, pengujian slump dilaksanakan sesuai dengan SNI 1972:2008 tentang Cara Uji Slump Beton. Prosedur pengujian diawali dengan meletakkan cetakan kerucut Abrams di atas pelat baja yang datar dan tidak menyerap air. Selanjutnya, cetakan diisi dengan beton segar dalam tiga lapisan yang memiliki volume hampir sama. Setiap lapisan dipadatkan sebanyak 25 tumbukan menggunakan batang penusuk baja berdiameter 16 mm dan panjang sekitar 600 mm. Setelah lapisan terakhir dipadatkan, permukaan beton diratakan hingga sejajar dengan bibir cetakan. Cetakan kemudian diangkat secara perlahan ke arah vertikal tanpa gerakan memutar dalam waktu sekitar 5–10 detik. Setelah beton mengalami penurunan, nilai slump diukur sebagai selisih antara tinggi awal cetakan (300 mm) dengan tinggi rata-rata permukaan beton setelah cetakan diangkat. Nilai slump dinyatakan dalam satuan milimeter (mm) dan digunakan sebagai indikator tingkat kemudahan pengerjaan campuran beton. Hasil pengujian slump selanjutnya dibandingkan dengan nilai slump rencana untuk memastikan bahwa campuran beton, termasuk variasi penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus, masih memiliki tingkat kelecakan yang memenuhi persyaratan sebelum dilakukan pencetakan benda uji.



Gambar 1. Proses pengujian Slump

Sumber: Dokumentasi pengujian (2026)

- Uji Perawatan Perawatan beton (*curing*) merupakan tahapan yang bertujuan untuk menjaga kelembapan dan suhu beton agar proses hidrasi semen berlangsung secara optimal. Proses ini sangat penting karena memengaruhi perkembangan kuat tekan dan kuat tarik dan kepadatan mikrostruktur. Perawatan yang baik akan menghasilkan beton dengan porositas yang lebih rendah sehingga lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan agresif. Pada penelitian ini, benda uji yang telah dicetak dibiarkan selama ± 24 jam hingga beton mencapai kekerasan awal. Selanjutnya, benda uji dilepaskan dari cetakan (*demoulding*) dan direndam dalam bak berisi air bersih pada suhu ruang sebagai media *curing*. Perawatan dilakukan hingga benda uji mencapai umur 28 hari sesuai dengan umur rencana pengujian. Setelah proses *curing* selesai, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan dikeringkan pada permukaannya sebelum dilakukan pengujian. Perawatan menggunakan air bersih bertujuan untuk memastikan proses hidrasi semen berlangsung secara maksimal sehingga beton memperoleh perkembangan kekuatan yang optimal serta kondisi yang seragam pada seluruh benda uji. Prosedur perawatan beton dilaksanakan sesuai dengan ketentuan SNI 2493:2011 tentang Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Dengan penerapan prosedur tersebut, diharapkan seluruh benda uji memiliki kondisi awal yang sama sehingga hasil pengujian kuat tekan dapat menggambarkan pengaruh variasi penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus secara lebih akurat.



Gambar 2. Proses perawatan beton (curing)

Sumber: Dokumentasi Pengujian (2026)

6. Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan maksimum sebelum mengalami keruntuhan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kekuatan beton. Hasil uji kuat tekan menjadi salah satu parameter utama dalam menilai tingkat kekuatan beton setelah mengalami lingkungan yang bersifat agresif. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Setelah proses curing selama 28 hari, benda uji direndam dalam larutan air biasa sesuai dengan konsentrasi dan lama perendaman yang telah ditentukan. Setelah masa perendaman selesai, permukaan benda uji dibersihkan dan dikeringkan sebelum dilakukan pengujian menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Pengujian dilakukan dengan meletakkan benda uji pada posisi sentris di antara pelat mesin uji tekan. Beban diberikan secara bertahap dan kontinu hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Nilai kuat tekan yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis dengan membandingkan setiap variasi persentase penggunaan limbah kaca terhadap beton normal. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi agregat halus menggunakan limbah kaca terhadap kuat tekan beton serta menentukan variasi campuran yang menghasilkan nilai kuat tekan terbaik.



Gambar 3. Proses pengujian kuat tekan

Sumber: Dokumentasi pengujian (2026)

7. Uji kuat tarik belah dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tarik belah beton. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik beton akibat variasi penggunaan limbah kaca.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang telah menjalani proses curing selama 28 hari menggunakan air bersih. Sebelum pengujian, permukaan benda uji dikeringkan, kemudian benda uji diletakkan secara horizontal pada Compression Testing Machine (CTM) dengan bantuan bantalan atau strip pembebanan sesuai ketentuan pengujian. Beban diberikan secara bertahap dan terus-menerus hingga benda uji mengalami keretakan atau keruntuhan akibat gaya tarik belah.



Gambar 4. Proses pengujian kuat tarik belah

Sumber: Dokumentasi pengujian (2026)

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. Adapun hasil pengujian sifat fisik bahan ditampilkan pada Tabel 2.

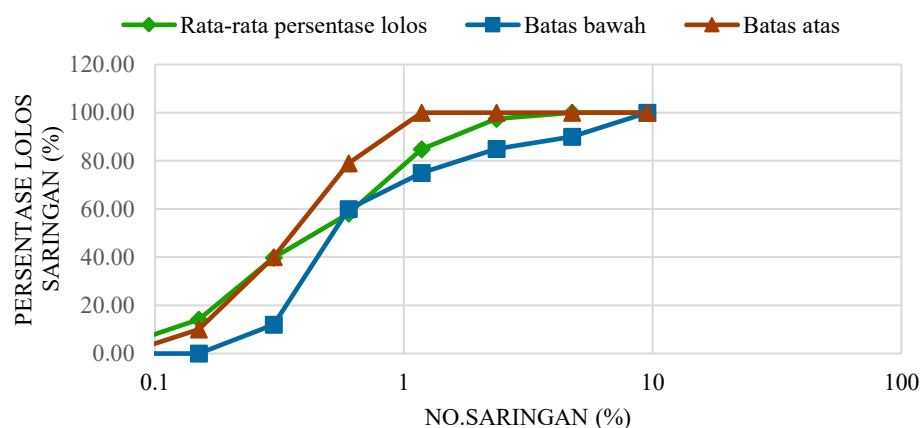
Tabel 2. Hasil Pengujian Fisik Material

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	18,04%	<40%	Oke
4	Agregat Halus	Kadar Lumpur	2,60%	5,00%	Oke
5	Agregat Kasar	Kadar Lumpur	2,31%	<1%	Oke

Sumber: Data Olahan (2026)

Salah satu hal yang penting untuk diketahui dari karakteristik pasir yang akan digunakan pada beton adalah daerah gradasi pasir. Grafik yang ada pada Gambar 5 berikut menunjukkan hasil pengujian saringan agregat yang menggambarkan distribusi ukuran butir berdasarkan persentase lolos saringan sebagai dasar evaluasi kesesuaian gradasi agregat.

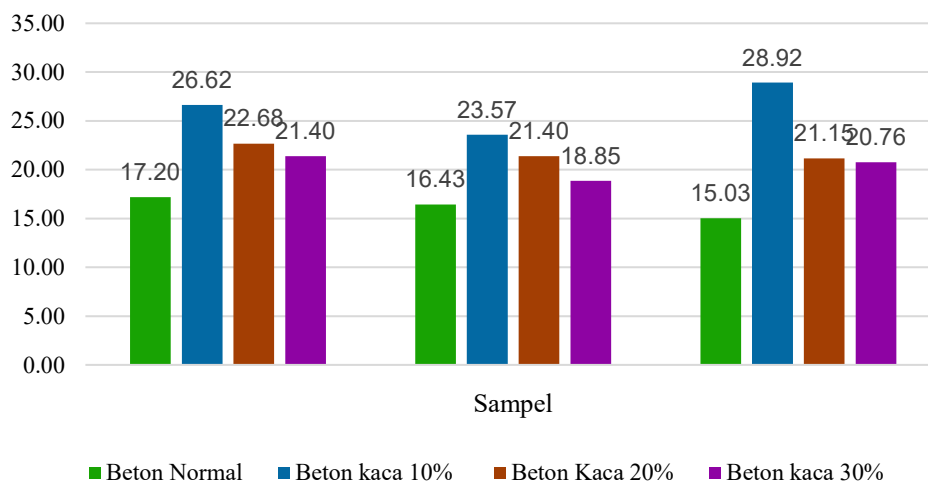
Hasil pengujian saringan agregat halus ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan grafik tersebut, pasir yang digunakan termasuk ke dalam gradasi Zona III (pasir sedang) sesuai SNI 03-2834-2000 dan berasal dari pasir sungai lokal yang memenuhi persyaratan sebagai agregat halus beton.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Saringan

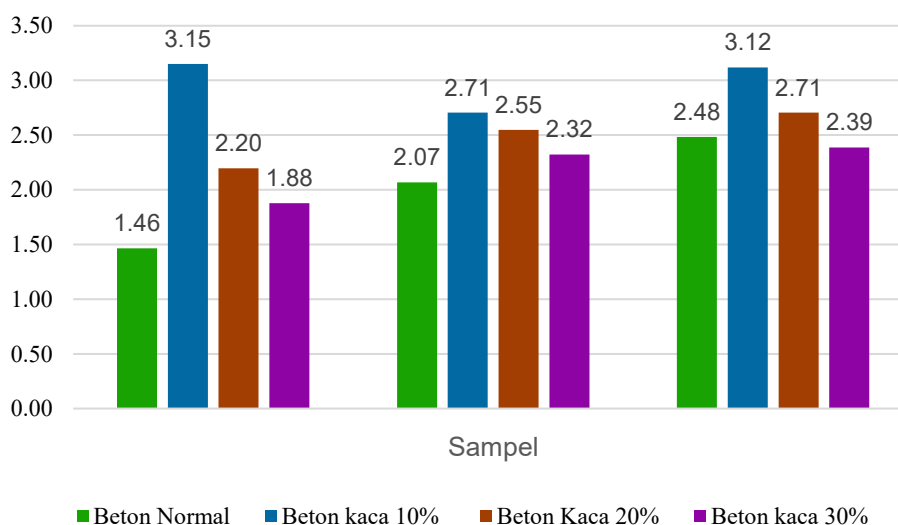
Sumber: Hasil Pengujian (2026)

Hasil pengujian saringan agregat kasar ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan grafik tersebut, agregat kasar yang digunakan termasuk ke dalam gradasi ukuran maksimum 40 mm sesuai SNI 03-2834-2000 dan berasal dari agregat kasar batu pecah yang memenuhi persyaratan sebagai agregat kasar beton. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan setelah beton menjalani proses perawatan (curing) dan mencapai umur 28 hari. Hasil pengujian sifat mekanis beton normal dan beton dengan penambahan limbah kaca dapat dilihat pada Gambar 6. Dan 7.



Gambar 6. Grafik Hasil Uji tekan Beton

Sumber: Hasil Pengujian (2026)



Gambar 7. Grafik Hasil Uji Tarik Belah

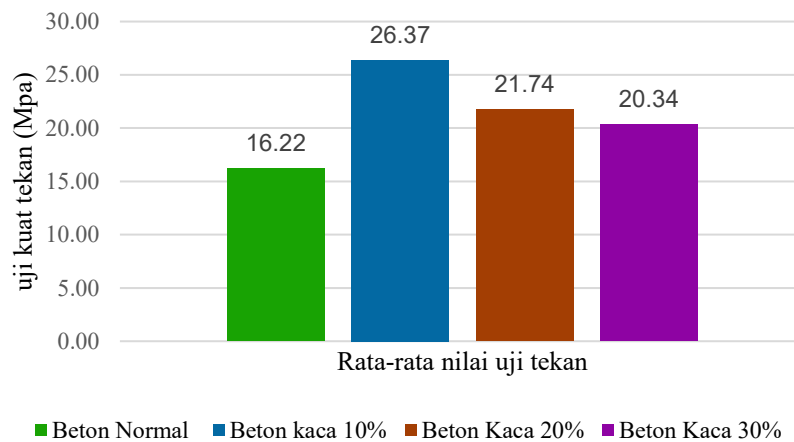
Sumber: Hasil Pengujian (2026)

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. Nilai kuat tekan beton dipengaruhi oleh kualitas material penyusun, faktor air semen, kepadatan campuran, serta proses perawatan beton setelah pengecoran (Mulyono, 2004). Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 16,22 MPa, sedangkan beton dengan substitusi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% masing-masing memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 26,37 MPa, 21,74 MPa, dan 20,34 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi substitusi limbah kaca 10% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan variasi lainnya, meskipun pada variasi 20% dan 30% masih menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal.

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 2,01 MPa, sedangkan beton dengan substitusi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% berturut-turut sebesar 2,99 MPa, 2,48 MPa, dan 2,20 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi substitusi limbah kaca 10% memberikan nilai kuat tarik belah

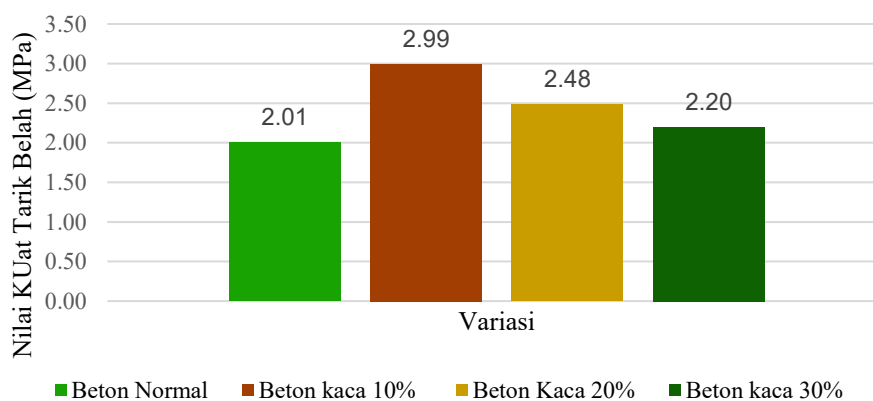
tertinggi. Meskipun nilai kuat tarik belah mengalami penurunan pada variasi 20% dan 30%, hasil yang diperoleh masih lebih tinggi dibandingkan beton normal.

Untuk mempermudah penyajian dan analisis data, nilai rata-rata hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dari setiap variasi campuran disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Grafik Rata-rata Hasil Uji kuat Tekan Beton

Sumber: Hasil Pengujian (2026)



Gambar 9. Grafik Rata-rata Hasil Uji kuat Tarik Belah

Sumber: Hasil Pengujian (2026)

Pembahasan

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik beton normal. Berdasarkan hasil pengujian pada umur 28 hari, beton normal memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 16,22 MPa, sedangkan beton dengan substitusi limbah kaca sebesar 10%, 20%, dan 30% berturut-turut menghasilkan kuat tekan sebesar 26,37 MPa, 21,74 MPa, dan 20,34 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa substitusi limbah kaca sebesar 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi. Peningkatan kuat tekan pada variasi 10% diduga disebabkan oleh efek pengisian rongga (*filler effect*) dari partikel limbah kaca yang mampu memperbaiki kepadatan beton sehingga ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi lebih baik. Pada variasi 20% dan 30% terjadi penurunan kuat tekan dibandingkan variasi 10%, namun nilainya masih lebih tinggi dibandingkan beton normal. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan limbah kaca dalam jumlah yang terlalu besar mulai mengurangi efektivitas ikatan antar material sehingga peningkatan kuat tekan tidak lagi maksimal.

Peningkatan kuat tekan pada variasi 20% dan 30% diduga terjadi karena ukuran butiran limbah kaca yang relatif halus mampu mengisi rongga-rongga di antara agregat (*filler effect*) sehingga campuran beton menjadi lebih padat. Kondisi tersebut menghasilkan ikatan yang lebih baik antara pasta semen dan agregat, sehingga beton memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam menahan beban tekan. Permukaan partikel limbah kaca yang keras dan tidak menyerap air turut berkontribusi terhadap peningkatan kepadatan beton apabila distribusinya dalam campuran merata. Sementara itu, pada variasi 10% terjadi sedikit penurunan kuat tekan (sebesar 1,17%) dibandingkan beton normal. Penurunan tersebut diduga disebabkan oleh proses penyesuaian gradasi campuran akibat penggantian sebagian agregat halus dengan limbah kaca pada kadar rendah, sehingga ikatan antar material belum terbentuk secara optimal. Meskipun

demikian, selisih nilai kuat tekan yang diperoleh pada variasi ini relatif kecil, sehingga penggunaan limbah kaca pada kadar 10% masih dapat diterapkan tanpa memberikan penurunan kekuatan yang signifikan. Kecenderungan peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya kadar limbah kaca ini sejalan dengan temuan Tangkelayuk et al. (2024).

Hasil pengujian kuat tarik belah menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca juga memberikan pengaruh terhadap kemampuan beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung. Beton normal memiliki kuat tarik belah rata-rata sebesar 2,01 MPa, sedangkan beton dengan substitusi limbah kaca sebesar 10%, 20%, dan 30% berturut-turut menghasilkan nilai sebesar 2,99 MPa, 2,48 MPa, dan 2,20 MPa. Nilai kuat tarik belah tertinggi diperoleh pada variasi substitusi 10%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan limbah kaca dalam jumlah optimum mampu meningkatkan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga beton memiliki ketahanan tarik yang lebih baik. Pada variasi 20% dan 30% terjadi penurunan kuat tarik belah dibandingkan variasi 10%, namun hasilnya masih lebih tinggi dibandingkan beton normal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca hingga 30% masih memberikan kontribusi positif terhadap sifat mekanik beton, meskipun kadar optimum diperoleh pada variasi 10%.

Peningkatan kuat tarik belah dari variasi 10% hingga 20% menunjukkan bahwa limbah kaca mampu memperbaiki kepadatan struktur beton sehingga ikatan antara agregat dan pasta semen menjadi lebih baik, yang pada gilirannya meningkatkan kemampuan beton menahan retak akibat gaya tarik. Akan tetapi, pada variasi 30% nilai kuat tarik belah mengalami sedikit penurunan dibandingkan variasi 20%. Hal tersebut diduga karena jumlah limbah kaca yang terlalu banyak menyebabkan luas bidang kontak antara pasta semen dan agregat alami berkurang, serta permukaan limbah kaca yang licin membuat ikatan antar material menjadi kurang optimal dalam menahan gaya tarik. Meskipun demikian, nilai kuat tarik belah pada variasi 30% masih lebih tinggi dibandingkan beton normal, sehingga kadar tersebut tetap tergolong efektif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik beton normal. Baik hasil pengujian kuat tekan maupun kuat tarik belah menunjukkan bahwa variasi substitusi 10% memberikan nilai tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Penambahan limbah kaca pada kadar tersebut mampu meningkatkan kepadatan campuran dan memperbaiki ikatan antara pasta semen dengan agregat sehingga menghasilkan beton dengan sifat mekanik yang lebih baik. Oleh karena itu, penggunaan limbah kaca sebesar 10% sebagai substitusi sebagian agregat halus direkomendasikan sebagai komposisi optimum karena mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah sekaligus mendukung pemanfaatan limbah kaca sebagai material konstruksi yang ramah lingkungan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus berpengaruh terhadap sifat mekanik beton normal pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai rata-rata sebesar 16,22 MPa, sedangkan beton dengan substitusi limbah kaca sebesar 10%, 20%, dan 30% berturut-turut menghasilkan nilai sebesar 26,37 MPa, 21,74 MPa, dan 20,34 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi substitusi 10%. Pada pengujian kuat tarik belah, beton normal memiliki nilai rata-rata sebesar 2,01 MPa, sedangkan beton dengan substitusi limbah kaca sebesar 10%, 20%, dan 30% berturut-turut menghasilkan nilai sebesar 2,99 MPa, 2,48 MPa, dan 2,20 MPa. Nilai kuat tarik belah tertinggi juga diperoleh pada variasi substitusi 10%. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus sebesar 10% merupakan komposisi yang paling optimum karena mampu memberikan peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah dibandingkan beton normal. Dengan demikian, limbah kaca berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif yang ramah lingkungan untuk mengurangi penggunaan agregat alam sekaligus meningkatkan sifat mekanik beton normal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. G., Bentur, A., & Mindess, S. (2017). *Durability of Concrete: Design and Construction*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781315118413>
- Azizudin, A. A., Pujiastuti, H., & Hidayati, N. (2020). Analisis pengaruh faktor air semen (FAS) terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 85–94.
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi bahan bangunan bagian A—Bahan bangunan bukan logam. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.

- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Neville, A. M. (2012). *Properties of Concrete* (5th ed.). London: Pearson Education Limited.
- Syah, M. R., Pramanda, H., & Putra, A. (2024). Pengaruh variasi bahan tambah terhadap sifat mekanik beton normal. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 45–54
- Olii, M. R., Poe, I. E., Ichsan, I., Olii, A., Teknik, P. S., Teknik, F., & Gorontalo, U. (2021). Agregat Halus Untuk Beton Ramah Lingkungan Mereduksi Jumlah Limbah Kaca di Indonesia. 11(1), 113–124. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.407>
- Oktarina, D., Ayu, O., & Purwanto, E. (2018). Pengaruh penambahan serat kawat bendrat terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 33–40. <https://doi.org/10.14710/potensi.2024.21365>
- Ramadan, D. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Limbah Kaca sebagai Pengganti Agregat Halus terhadap Kuat Tekan Beton. 6, 86. <https://doi.org/10.36262/widyakala.v6i1.148>
- Sudjati, J. J., & Yuliyanti, T. (2014). Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Terhadap Sifat Mekanik Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 1–11.
- Tangkelayuk, B., Tonapa, S. R., & Febriani, L. (2024). Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Pada Beton Normal. 6(4), 587–597.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.