

Analisis Durabilitas Beton dengan Campuran Limbah Kaca terhadap Serangan Sulfat

Siti Mustika Sari^{1*}, Hariyadi², Maya Saridewi Pascanawaty³, Adryan Fitrayudha⁴

^{1,3,4}Universitas Muhammadiyah Mataram

²Universitas Mataram

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

beton, durabilitas, kuat tekan, limbah kaca, asam sulfat.

*Correspondence email:

tikaa0504@gmail.com

Submitted: 18 Juli 2026

Revised: 04 Agustus 2026

Accepted: 04 Agustus 2026

Published: 06 Agustus 2026

ABSTRAK

Penggunaan agregat alam yang terus meningkat dalam produksi beton mendorong pemanfaatan material alternatif yang lebih ramah lingkungan, salah satunya limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah kaca terhadap nilai slump dan kuat tekan beton serta membandingkan kinerja beton pada kondisi perendaman air normal dan larutan asam sulfat. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan variasi limbah kaca sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% dari berat agregat halus. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm direndam selama 21 hari dalam air normal dan larutan asam sulfat dengan pH 4, kemudian dilakukan pengujian slump dan kuat tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai slump beton normal, variasi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% masing-masing sebesar 6 cm, 5 cm, 7,5 cm, dan 7 cm. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi limbah kaca 10%, yaitu sebesar 27,76 MPa pada perendaman air normal dan 24,27 MPa pada perendaman larutan asam sulfat. Nilai tersebut meningkat masing-masing sebesar 62,6% dan 29,9% dibandingkan beton normal. Penggunaan limbah kaca sebesar 20% dan 30% menyebabkan kuat tekan cenderung menurun, meskipun masih lebih tinggi dibandingkan beton normal. Dengan demikian, penggunaan limbah kaca sebesar 10% merupakan variasi optimum sebagai pengganti sebagian agregat halus karena menghasilkan kuat tekan tertinggi pada kedua kondisi perendaman.

ABSTRACT

Keywords:

concrete, durability, compressive strength, waste glass, sulfuric acid.

The continuously increasing use of natural aggregates in concrete production drives the utilization of more environmentally friendly alternative materials, such as waste glass as a partial replacement for fine aggregates. This study aims to analyze the effect of using waste glass on concrete slump and compressive strength, and to compare concrete performance under normal water immersion and sulfuric acid solution immersion. An experimental approach was employed using waste glass variations of 0%, 10%, 20%, and 30% by weight of fine aggregates. Cylindrical specimens (10 cm in diameter and 20 cm in height) were immersed for 21 days in either normal water or a sulfuric acid solution (pH 4), followed by slump and compressive strength testing. The results showed slump values of 6 cm, 5 cm, 7.5 cm, and 7 cm for normal concrete and the 10%, 20%, and 30% waste glass variations, respectively. The highest compressive strength was achieved with the 10% waste glass variation: 27.76 MPa for normal water immersion and 24.27 MPa for sulfuric acid solution immersion. These values represent increases of 62.6% and 29.9%, respectively, compared to normal concrete. Compressive strength tended to decrease with 20% and 30% waste glass content, although the values remained higher than those of normal concrete. Thus, the 10% waste glass variation is the optimum choice for partially replacing fine aggregates, as it yielded the highest compressive strength under both immersion conditions.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan pada berbagai jenis bangunan, seperti gedung, jembatan, jalan, dan infrastruktur lainnya (Jaelani, 2024). Penggunaan beton yang luas didukung oleh berbagai keunggulan, antara lain memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi, tahan terhadap api, serta biaya produksi yang relatif ekonomis karena bahan penyusunnya mudah diperoleh. Namun, meningkatnya kebutuhan pembangunan juga menyebabkan konsumsi agregat alam, khususnya pasir sebagai agregat halus, terus meningkat sehingga berpotensi mengurangi ketersediaan sumber daya alam dan menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Kondisi tersebut mendorong berbagai upaya untuk mencari material alternatif yang dapat menggantikan sebagian agregat halus tanpa mengurangi kualitas beton, sekaligus mendukung pembangunan yang berkelanjutan (Ode et al., 2024).

Salah satu material alternatif yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah kaca. Seiring dengan meningkatnya aktivitas industri, komersial, dan rumah tangga, jumlah limbah kaca terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Kaca merupakan material anorganik yang sulit terurai secara alami sehingga penumpukannya dapat menjadi salah satu permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Salah satu upaya pemanfaatan limbah kaca adalah mengolahnya menjadi serbuk atau butiran halus untuk digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton. Selain dapat mengurangi penggunaan pasir alam, limbah kaca memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi sehingga berpotensi memperbaiki struktur mikro beton melalui efek pengisian (*filler effect*) dan meningkatkan kerapatan matriks beton pada kadar tertentu (Olii et al., 2021). Dengan demikian, pemanfaatan limbah kaca tidak hanya memberikan nilai tambah terhadap pengelolaan limbah, tetapi juga berpotensi meningkatkan kualitas beton (Dharma, 2025).

Selain memiliki kekuatan yang tinggi, beton juga dituntut memiliki durabilitas yang baik agar mampu mempertahankan kinerjanya selama masa layan. Durabilitas merupakan kemampuan beton untuk bertahan terhadap pengaruh lingkungan fisik maupun kimia tanpa mengalami penurunan fungsi yang signifikan. Salah satu faktor yang dapat menurunkan durabilitas beton adalah paparan lingkungan agresif yang mengandung senyawa asam atau sulfat (Jaelani, 2024). Serangan kimia tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada struktur mikro beton sehingga mengurangi umur layan konstruksi. Oleh karena itu, pengujian durabilitas menjadi aspek penting dalam mengevaluasi kinerja beton, terutama apabila beton akan digunakan pada lingkungan yang berpotensi mengalami serangan zat kimia (Dharma, 2025).

Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan salah satu senyawa kimia yang banyak dijumpai pada lingkungan industri, saluran pembuangan, instalasi pengolahan air limbah, serta tanah dan air yang terkontaminasi bahan kimia. Ketika beton terpapar larutan asam sulfat, ion hidrogen dan ion sulfat akan bereaksi dengan produk hasil hidrasi semen, terutama kalsium hidroksida, sehingga membentuk senyawa kalsium sulfat (gypsum) dan etringit yang bersifat ekspansif. Reaksi tersebut menyebabkan terjadinya pelunakan permukaan beton, kehilangan massa, retak, pengelupasan (*spalling*), serta penurunan kuat tekan. Semakin lama beton berada pada lingkungan yang mengandung larutan asam sulfat, semakin besar pula tingkat degradasi yang terjadi sehingga durabilitas beton akan terus menurun (Azzahra, 2026).

Beberapa penelitian telah mengkaji pemanfaatan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus pada beton. Penelitian oleh (Padang et al., 2022) menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca sebesar 20% pada beton yang direndam dalam larutan asam sulfat pH 3 menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 20,75 MPa pada umur 28 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa serbuk kaca berpotensi meningkatkan ketahanan beton terhadap serangan sulfat.

Meskipun demikian, penelitian hanya mengkaji beton yang direndam dalam larutan asam sulfat dan berfokus pada kuat tekan. Perbandingan durabilitas beton dengan campuran limbah kaca antara media perendaman air normal dan larutan asam sulfat masih belum banyak diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan durabilitas beton dengan campuran limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus pada kedua media perendaman tersebut, sehingga dapat diketahui pengaruh lingkungan perendaman terhadap ketahanan beton.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Penelitian bertujuan membandingkan durabilitas beton dengan campuran limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus pada media perendaman air normal dan larutan asam sulfat. Variasi limbah kaca yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% dari berat agregat halus.

Pengujian dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm x 20 cm dengan perendaman menggunakan air normal dan larutan asam sulfat pH 4 dengan penambahan limbah kaca 0% sebanyak 3 sampel, 10% sebanyak 3 sampel, 20% sebanyak 3 sampel, dan 30% sebanyak 3 sampel. Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan berikut :

1. Persiapan Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan yaitu, Timbangan digital, Saringan, Wadah penyampur beton, Alat pengaduk beton, Wadah/napan, 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*. Adapun bahan yang digunakan adalah seperti, semen Portland Tipe I, agregat halus (pasir) Fineness modulus 2,06 dari pengujian saringan, agregat kasar (kerikil batu pecah) berukuran 40mm yang mengacu pada SNI 03-2847-2002 (BSN, 2002), air bersih laboratorium, limbah kaca, dan larutan asam sulfat.

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:

- Uji kadar air
- Uji kadar lumpur
- Uji berat jenis
- Uji saringan
- Uji berat volume
- Uji abrasi

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 yang ditargetkan serta memiliki karakteristik yang sesuai untuk pengujian durabilitas. 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 (Suku, 2024).

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. Hasil perancangan job mix design yang meliputi kebutuhan limbah kaca, pasir, kerikil, semen, dan air pada masing-masing variasi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Campuran Beton (Mix Design)

Variasi	Limbah kaca (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Semen (Kg)	Air (Liter)
Beton Normal	0	1,46	2,54	0,73	0,33
Limbah kaca 10%	0,146	1,31	2,54	0,73	0,33
Limbah kaca 20%	0,292	1,17	2,54	0,73	0,33
Limbah kaca 30%	0,437	1,02	2,54	0,73	0,33

Sumber: Hasil Data Olahan, (2026)

Berdasarkan Tabel 1, variasi campuran beton dibuat dengan mengganti sebagian agregat halus menggunakan limbah kaca sebesar 10%, 20%, dan 30%, sedangkan jumlah semen, agregat kasar, dan air tetap dipertahankan. Hal ini dilakukan agar pengaruh penggunaan limbah kaca terhadap sifat beton dapat diamati secara lebih objektif.

4. Persiapan Uji Slump

Uji slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar sebelum dilakukan proses pencetakan benda uji (Devi et al., 2023). 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* (Lestari et al., 2024).

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 (320 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.

5. Uji Perawatan

Perawatan benda uji beton dilakukan dengan metode perendaman selama 21 hari menggunakan dua jenis media perawatan, yaitu air normal dan larutan asam sulfat. Setelah proses pengecoran, benda uji beton dibiarkan selama ± 24 jam hingga mencapai kondisi yang cukup keras untuk dilakukan pelepasan cetakan. Selanjutnya, sebanyak 24 benda uji dibagi menjadi dua kelompok, yaitu 12 benda uji direndam dalam air normal dan 12 benda uji direndam dalam larutan asam sulfat. Perendaman dilakukan secara bersamaan selama 21 hari sesuai dengan variasi media yang telah ditentukan.

Perawatan menggunakan air normal bertujuan untuk menjaga kelembapan beton agar proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan baik sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih padat dan memiliki kuat tekan yang optimal (I.G.A. Neny Purnawirati, 2022). Sementara itu, perawatan menggunakan larutan asam sulfat bertujuan untuk mengetahui pengaruh lingkungan sulfat terhadap durabilitas beton dengan campuran limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus. Selama proses perendaman, benda uji diletakkan dalam wadah yang berisi larutan hingga seluruh permukaan beton terendam agar reaksi antara beton dan media perendaman dapat berlangsung secara merata.

Setelah masa perendaman selama 21 hari selesai, benda uji dikeluarkan dari media perendaman dan didiamkan selama ± 24 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan serta pengamatan kondisi fisik permukaan beton. Hasil pengujian tersebut digunakan untuk membandingkan durabilitas beton dengan variasi campuran limbah kaca setelah terpapar air normal dan larutan asam sulfat.

6. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menerima beban tekan maksimum hingga mengalami keruntuhan (Arsasuta & Rochmah, 2024). Nilai kuat tekan beton menjadi salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas dan durabilitas beton, karena menunjukkan tingkat kekuatan serta kepadatan struktur beton setelah mengalami proses perawatan dan perendaman pada media pengujian. Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan dilakukan terhadap benda uji beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm setelah melalui proses perawatan selama 21 hari dalam air normal dan larutan asam sulfat.

Sebelum dilakukan pengujian, benda uji dikeluarkan dari media perendaman kemudian dibersihkan dari sisa air atau larutan yang menempel pada permukaan beton. Benda uji didiamkan ± 24 jam selanjutnya, benda uji ditimbang dan dilakukan pengukuran dimensi untuk memastikan kondisi benda uji sebelum pengujian. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan alat Compression Testing Machine (CTM) dengan memberikan beban tekan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan. Besarnya beban maksimum yang diterima beton saat mengalami keruntuhan dicatat sebagai dasar perhitungan nilai kuat tekan beton. Nilai beban maksimum yang tercatat kemudian digunakan untuk menghitung kuat tekan beton menggunakan persamaan 1 berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan:

- f'_c = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban maksimum saat benda uji mengalami keruntuhan (N)
- A = luas penampang benda uji (mm^2)

Nilai kuat tekan yang diperoleh selanjutnya dibandingkan antar variasi campuran limbah kaca dan kondisi perendaman untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah kaca terhadap ketahanan beton terhadap serangan larutan asam sulfat. Analisis hasil pengujian dilakukan dengan membandingkan perubahan kuat tekan terhadap beton normal sehingga dapat diketahui variasi campuran yang memberikan performa durabilitas terbaik.

HASIL

Hasil pengujian yang diperoleh dari penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram dan disajikan berdasarkan variabel penelitian yang telah ditetapkan. Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi campuran limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap karakteristik beton. Penyajian data dilakukan dalam bentuk tabel dan grafik agar mempermudah proses analisis serta interpretasi hasil penelitian. Pengujian karakteristik fisik material penyusun beton, baik agregat halus maupun agregat kasar, meliputi pemeriksaan kadar air, berat jenis, penyerapan air, berat volume, serta analisis gradasi agregat. Seluruh tahapan pengujian material dilakukan berdasarkan standar teknis yang berlaku sebagai acuan dalam perancangan campuran beton (Job Mix Design). Adapun hasil pengujian sifat fisik material terdapat pada tabel 2.

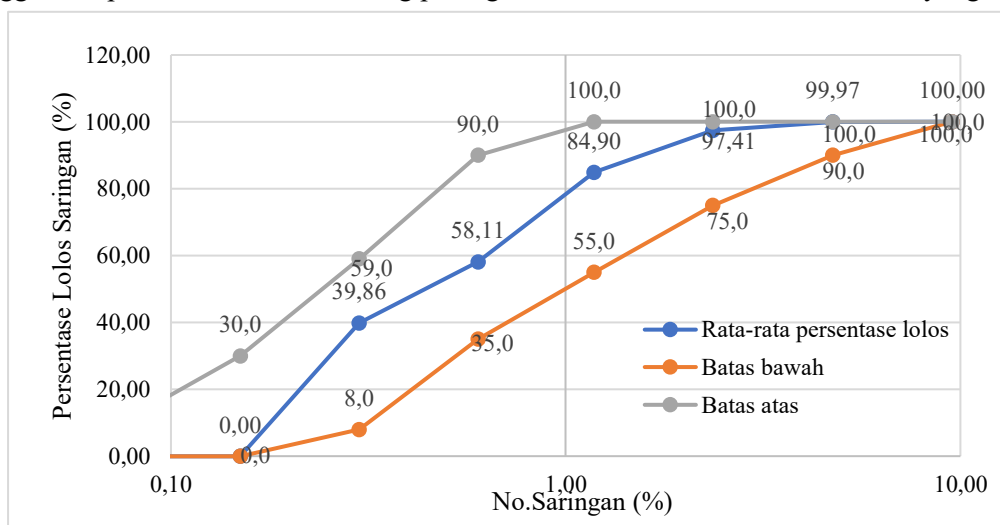
Tabel 2. Hasil Pengujian Fisik Material

No.	Material	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat	Acuan	Keterangan
1	Agregat Halus	Kadar Air	4,17%	3-5%	SNI 1971-2011	OKE
2	Agregat Kasar	Kadar Air	2,74%	2-5%	SNI 1971-2011	OKE
3	Agregat Halus	Berat Jenis	2,4	2,4-2,9	SNI 1970-2008	OKE
4	Agregat Kasar	Berat Jenis	2,5	2,4-2,9	SNI 1969-2008	OKE
5	Agregat Halus	Berat Volume	1,60	0,4-1,9	SNI 03-1973-1998	OKE
6	Agregat Kasar	Berat Volume	1,62	0,4-1,9	SNI 03-1973-1998	OKE
7	Agregat Halus	Uji Saringan	2,06%	1,5-3,8%	SNI-03-2461-1991	OKE
8	Agregat Kasar	Uji Saringan	7,26%	5-8%	SNI-03-2461-1991	OKE
9	Agregat Kasar	Abrasi	18,332%	<40%	SNI 03-2517-2008	OKE

Sumber : Hasil Data Olahan, (2026)

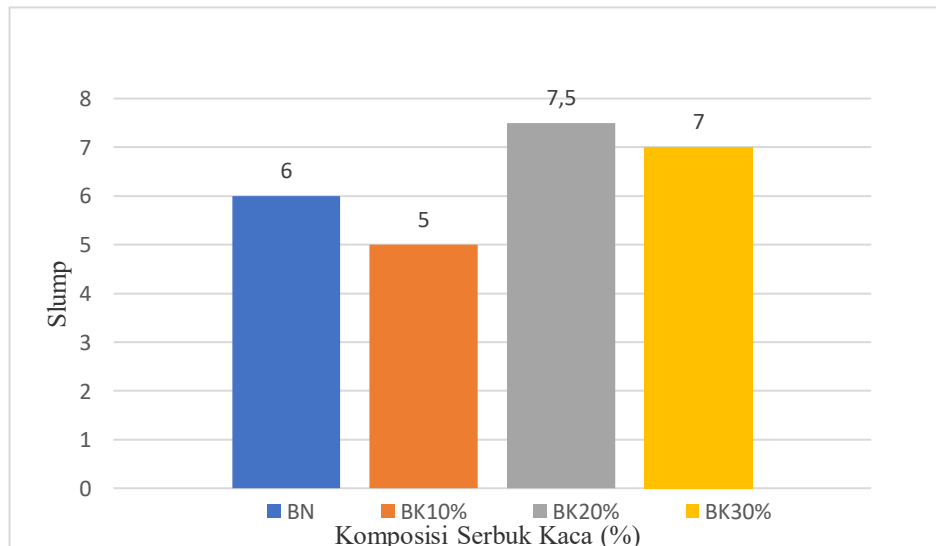
Pengujian kadar air agregat halus dan kasar mengacu pada SNI 1971:2011 (BSN, 2011), sedangkan pengujian berat jenis agregat halus dan kasar masing-masing mengacu pada SNI 1970:2008 (BSN, 2008) dan SNI 1969:2008 (BSN, 2008). Pengujian berat volume kedua jenis agregat mengacu pada SNI 03-1973-1998 (BSN, 1998), pengujian saringan mengacu pada SNI 03-2461-1991 (BSN, 1991), dan pengujian abrasi agregat kasar mengacu pada SNI 03-2517-2008 (BSN, 2008). Salah satu karakteristik penting yang perlu diketahui dari agregat halus yang digunakan dalam campuran beton adalah gradasi atau distribusi ukuran butir pasir. Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengetahui susunan ukuran butiran agregat berdasarkan persentase material yang lolos pada setiap ukuran saringan. Hasil pengujian tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 1, yang digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kesesuaian gradasi agregat halus terhadap standar yang berlaku.

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat halus yang ditunjukkan pada Gambar 1, pasir yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi Zona II (pasir agak kasar) sesuai dengan persyaratan SNI 03-2834-2000. Agregat halus yang digunakan berasal dari pasir sungai lokal dan memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun campuran beton. Gradasi yang sesuai akan menghasilkan susunan butiran yang lebih padat, mengurangi rongga antarpartikel, serta mendukung peningkatan kualitas dan durabilitas beton yang dihasilkan.



Gambar 1. Hasil Uji Saringan Agregat Halus
Sumber: Hasil Data Olahan, (2026)

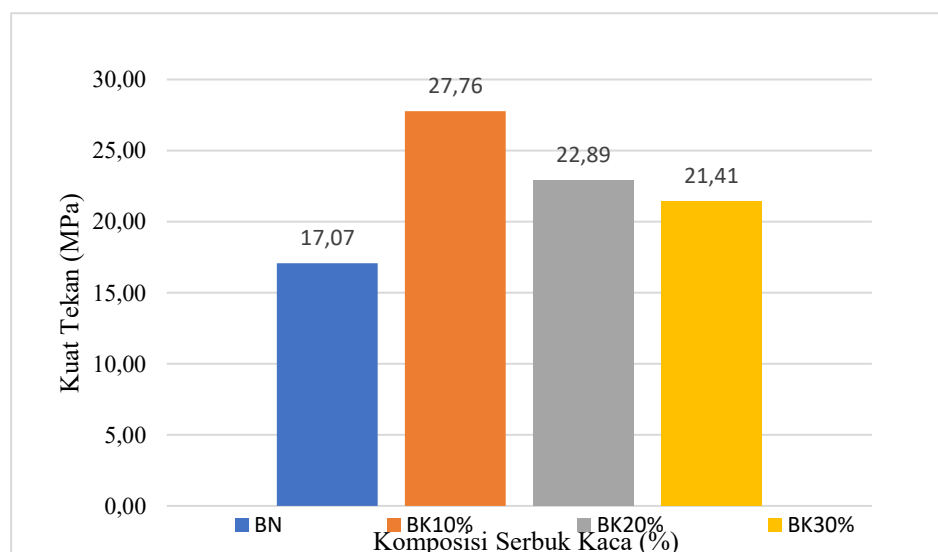
Berdasarkan hasil pengujian slump yang telah dilakukan pada setiap variasi campuran limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus, diperoleh nilai slump yang berbeda pada masing-masing variasi. Perbedaan nilai slump tersebut dipengaruhi oleh karakteristik fisik limbah kaca yang digunakan, seperti bentuk butiran, tekstur permukaan, serta kemampuan material dalam menyerap air. Limbah kaca memiliki permukaan yang relatif halus dan tidak berpori dibandingkan pasir alami, sehingga kemampuan menyerap air lebih rendah. Kondisi tersebut dapat memengaruhi jumlah air bebas dalam campuran beton yang kemudian berpengaruh terhadap nilai slump. Hasil uji slump dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil Uji Slump
Sumber: Hasil Data Olahan, (2026)

Berdasarkan hasil pengujian slump, diperoleh nilai slump beton normal (BN) sebesar 6 cm, sedangkan beton dengan substitusi serbuk kaca sebesar 10%, 20%, dan 30% masing-masing menghasilkan nilai slump sebesar 5 cm, 7,5 cm, dan 7 cm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca memberikan pengaruh terhadap workability beton segar. Pada variasi BK10% terjadi penurunan nilai slump dibandingkan beton normal, sedangkan pada variasi BK20% terjadi peningkatan hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 7,5 cm. Selanjutnya, pada variasi BK30% nilai slump mengalami sedikit penurunan menjadi 7 cm. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan persentase serbuk kaca tidak menghasilkan perubahan nilai slump yang linier, melainkan dipengaruhi oleh karakteristik butiran dan interaksi material dalam campuran beton. Berdasarkan hasil pengujian, variasi BK20% memiliki tingkat kelecakan paling tinggi dibandingkan variasi lainnya.

Setelah proses curing selesai dan benda uji mencapai umur yang telah ditentukan, dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton setelah perendaman dalam air normal. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji Kuat Tekan Rendaman Air Normal
Sumber: Hasil Data Olahan, (2026)

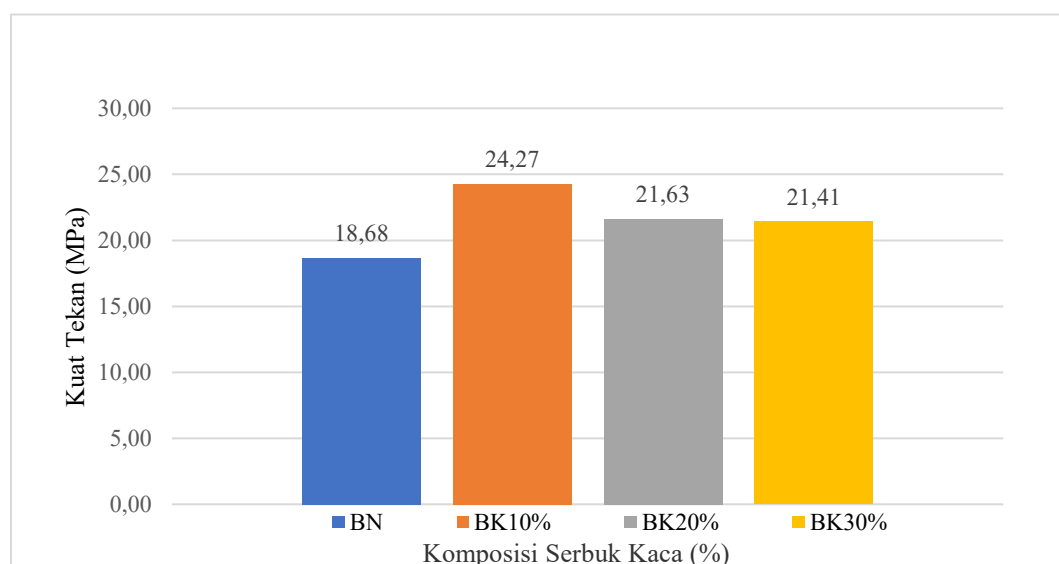
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 21 hari dengan metode perendaman air normal, diperoleh nilai rata-rata kuat tekan yang berbeda pada setiap variasi campuran serbuk kaca. Beton normal (BN) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 17,07 MPa. Penambahan serbuk kaca sebanyak 10% menghasilkan kuat tekan

rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 27,76 MPa, atau mengalami peningkatan sekitar 62,6% dibandingkan beton normal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca sebesar 10% mampu memperbaiki sifat mekanik beton melalui efek pengisian rongga (*filler effect*) dan potensi reaksi pozzolan dari partikel kaca halus sehingga struktur beton menjadi lebih padat.

Pada variasi serbuk kaca 20%, kuat tekan rata-rata mengalami penurunan menjadi 22,89 MPa, namun masih lebih tinggi sekitar 34,1% dibandingkan beton normal. Selanjutnya, pada variasi serbuk kaca 30%, kuat tekan rata-rata kembali mengalami penurunan menjadi 21,41 MPa, meskipun masih lebih tinggi sekitar 25,4% dibandingkan beton normal.

Penurunan kuat tekan pada kadar serbuk kaca di atas 10% menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca dalam jumlah yang lebih tinggi mulai mengurangi efektivitas ikatan antara pasta semen dan agregat. Selain itu, peningkatan jumlah serbuk kaca dapat memengaruhi proporsi material pengikat aktif sehingga proses hidrasi menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut menyebabkan kuat tekan beton mengalami penurunan, meskipun nilainya masih lebih tinggi dibandingkan beton normal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi campuran serbuk kaca sebesar 10% merupakan komposisi yang paling optimum dalam meningkatkan kuat tekan beton pada kondisi perendaman air normal umur 21 hari, dengan nilai rata-rata sebesar 27,76 MPa. Setelah melewati kadar tersebut, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase serbuk kaca dalam campuran beton. Setelah itu hasil uji kuat tekan rendaman pada larutan asam sulfat dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil Uji Kuat Tekan Rendaman Larutan asam sulfat
Sumber: Hasil Data Olahan, (2026)

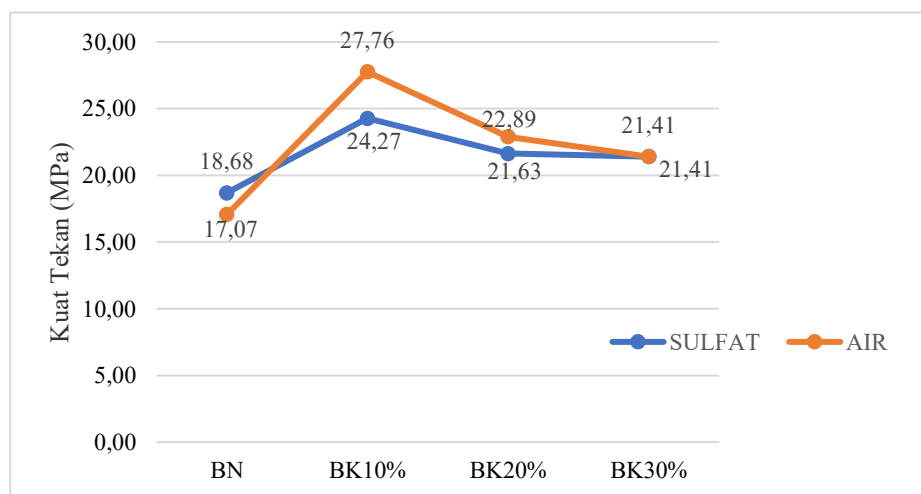
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 21 hari setelah perendaman dalam larutan asam sulfat, diperoleh nilai kuat tekan rata-rata yang berbeda pada setiap variasi campuran serbuk kaca. Beton normal (BN) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 18,68 MPa. Penambahan serbuk kaca sebesar 10% (BK10%) menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi, yaitu 24,27 MPa, atau meningkat sekitar 29,9% dibandingkan beton normal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca sebesar 10% mampu meningkatkan kepadatan struktur beton melalui efek pengisian rongga (*filler effect*) serta membantu memperbaiki ikatan antarpartikel dalam campuran beton.

Pada variasi serbuk kaca 20% (BK20%), kuat tekan rata-rata mengalami penurunan menjadi 21,63 MPa, tetapi masih lebih tinggi sekitar 15,8% dibandingkan beton normal. Selanjutnya, pada variasi serbuk kaca 30% (BK30%), kuat tekan kembali mengalami sedikit penurunan menjadi 21,41 MPa, namun masih lebih tinggi sekitar 14,6% dibandingkan beton normal.

Penurunan kuat tekan pada penambahan serbuk kaca di atas 10% menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca dalam jumlah yang lebih tinggi mulai mengurangi efektivitas ikatan antara pasta semen dan agregat. Selain itu, semakin tinggi persentase serbuk kaca yang digunakan dapat menyebabkan jumlah material pengikat yang aktif berkurang sehingga proses hidrasi dan pembentukan struktur beton menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut menyebabkan kuat tekan beton mengalami penurunan, meskipun nilai kuat tekannya masih lebih tinggi dibandingkan beton normal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi campuran serbuk kaca sebesar 10% merupakan komposisi yang paling optimum dalam meningkatkan kuat tekan beton setelah perendaman dalam larutan asam sulfat

pada umur 21 hari, dengan nilai rata-rata sebesar 24,27 MPa. Setelah melewati kadar tersebut, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase serbuk kaca dalam campuran beton.



Gambar 5. Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Perendaman Air Normal dan Larutan Asam Sulfat
Sumber: Hasil Data Olahan, (2026)

Berdasarkan Gambar 5, hasil perbandingan kuat tekan beton pada umur 21 hari menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada kondisi perendaman air normal dan larutan asam sulfat mengalami pola perubahan yang relatif sama pada setiap variasi campuran serbuk kaca. Pada beton normal (BN), kuat tekan beton yang direndam dalam larutan asam sulfat sebesar 18,68 MPa, sedangkan pada perendaman air normal sebesar 17,07 MPa. Pada variasi BK10%, kuat tekan beton mencapai nilai tertinggi pada kedua kondisi perendaman, yaitu 27,76 MPa pada perendaman air normal dan 24,27 MPa pada perendaman larutan asam sulfat. Selanjutnya, pada variasi BK20%, kuat tekan mengalami penurunan menjadi 22,89 MPa pada perendaman air normal dan 21,63 MPa pada perendaman larutan asam sulfat. Pada variasi BK30%, kuat tekan kembali menurun dan memiliki nilai yang sama pada kedua kondisi perendaman, yaitu sebesar 21,41 MPa. Secara keseluruhan, penambahan serbuk kaca sebesar 10% merupakan variasi yang paling optimum karena menghasilkan kuat tekan tertinggi pada kedua kondisi perendaman. Setelah penambahan serbuk kaca melebihi 10%, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan. Meskipun demikian, seluruh variasi beton dengan penambahan serbuk kaca masih menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca dalam jumlah optimum dapat meningkatkan kepadatan dan kualitas struktur beton, sedangkan penggunaan dalam persentase yang terlalu tinggi dapat menurunkan efektivitas ikatan antar material dalam campuran beton.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus memengaruhi workability dan kuat tekan beton. Nilai slump beton normal sebesar 6 cm, sedangkan pada variasi limbah kaca 10%, 20%, dan 30% masing-masing sebesar 5 cm, 7,5 cm, dan 7 cm. Perubahan nilai slump yang tidak linier menunjukkan bahwa tingkat kelecakan dipengaruhi oleh karakteristik butiran limbah kaca serta interaksinya dengan material penyusun beton. Variasi limbah kaca 20% menghasilkan nilai slump tertinggi, namun nilai slump yang tinggi tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang paling besar.

Pada perendaman air normal, beton normal memiliki kuat tekan sebesar 17,07 MPa. Penambahan limbah kaca 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 27,76 MPa atau meningkat sekitar 62,6% dibandingkan beton normal. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa limbah kaca pada kadar 10% dapat memperbaiki kepadatan struktur beton melalui efek pengisian rongga (filler effect). Pada variasi 20% dan 30%, kuat tekan menurun menjadi 22,89 MPa dan 21,41 MPa. Penurunan ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca di atas 10% mulai mengurangi efektivitas ikatan antara pasta semen dan agregat, meskipun nilai kuat tekannya masih lebih tinggi dibandingkan beton normal.

Pada perendaman larutan asam sulfat, beton normal memiliki kuat tekan sebesar 18,68 MPa. Variasi limbah kaca 10% kembali menghasilkan nilai tertinggi, yaitu 24,27 MPa atau meningkat sekitar 29,9% dibandingkan beton normal. Selanjutnya, kuat tekan pada variasi limbah kaca 20% dan 30% menurun menjadi 21,63 MPa dan 21,41 MPa. Pola tersebut menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca sebesar 10% merupakan komposisi yang paling efektif dalam meningkatkan kuat tekan beton setelah perendaman dalam larutan asam sulfat.

Perbandingan kedua media perendaman menunjukkan bahwa variasi limbah kaca 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi pada perendaman air normal maupun larutan asam sulfat. Kuat tekan pada perendaman air normal sebesar

27,76 MPa, sedangkan pada larutan asam sulfat sebesar 24,27 MPa. Secara keseluruhan, penggunaan limbah kaca sebesar 10% merupakan variasi optimum dalam penelitian ini. Penggunaan limbah kaca pada kadar yang lebih tinggi cenderung menurunkan kuat tekan, sehingga penambahan limbah kaca perlu dibatasi agar tetap memberikan pengaruh positif terhadap kinerja beton.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus memberikan pengaruh terhadap nilai slump dan kuat tekan beton. Variasi limbah kaca sebesar 20% menghasilkan nilai slump tertinggi, yaitu 7,5 cm, namun nilai slump yang tinggi tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang paling besar. Penambahan limbah kaca sebesar 10% merupakan variasi optimum karena menghasilkan kuat tekan tertinggi pada kedua kondisi perendaman, yaitu sebesar 27,76 MPa pada perendaman air normal atau meningkat sebesar 62,6% dibandingkan beton normal, serta sebesar 24,27 MPa pada perendaman larutan asam sulfat atau meningkat sebesar 29,9% dibandingkan beton normal. Penggunaan limbah kaca sebesar 20% dan 30% menyebabkan kuat tekan cenderung menurun, meskipun nilainya masih lebih tinggi dibandingkan beton normal. Dengan demikian, limbah kaca sebesar 10% berpotensi digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus untuk meningkatkan kinerja beton pada kondisi perendaman air normal maupun larutan asam sulfat. Namun, penggunaan limbah kaca perlu dibatasi pada kadar optimum agar tetap memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan dan durabilitas beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsasuta, F., & Rochmah, N. (2024). Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Alir 1,2. 10(1), 12–23. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v10i1.9475>
- Azzahra, A. (2026). Kinerja Mekanik Beton Campuran Abu Cangkang Telur dan Silika Fume dalam Lingkungan Asam Sulfat. 8(1), 45–48.
- 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. (2012). SNI 7656:2012: Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat, dan beton massa. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). SNI 03-1973-1998: Metode pengujian berat isi beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 03-2461-1991: Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 03-2517-2008: Metode pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1970:2008: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1969:2008: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1971:2011: Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan. Jakarta: BSN.
- Devi, D. S., Fauzi, M., Syafitri, B., & Laksono, A. (2023). Durabilitas Geopolymer Foam concrete Terhadap Ketahanan Sulfat. 12(01), 24–29. <https://doi.org/10.36982/jtg.v12i01.3175>
- Dharma, F. A. (2025). Perbandingan Kuat Tekan Beton dengan Campuran Serbuk Kaca. 17, 95–104.
- I.G.A. Neny Purnawirati, F. S. H. (2022). Jurnal Talenta Sipil. 5, 165–172. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v5i1.110>
- Jaelani, B. (2024). Jurnal rekayasa infrastruktur. 10(2). <https://doi.org/10.31943/jri.v10i2.278>
- Lestari, A. D., Hutauruk, D. M., & Alfa, A. (2024). STUDI EKSPERIMEN KUAT TEKAN BETON MENGGUNAKAN PORTLAND COMPOSITE CEMENT (PCC) DAN PORTLAND POZZOLAN CEMENT (PPC) DENGAN PASIR YANG DITAMBANG DARI SUNGAI WAMPU (MIX DESIGN SNI 7656-2012). 10(3). <https://doi.org/10.47521/selodangmayang.v10i3.429>
- Ode, T., Sahusilawane, T., & Marantika, M. (2024). Journal aggregate vol. 3, no. 1, maret 2024. 3(1), 1–6.
- 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 . Beberapa penelitian telah melakukan. 11(1), 113–124. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.407>
- Padang, I., Matana, H., & Ganti, A. (2022). Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Pada Beton yang Direndam dengan Larutan Asam Sulfat Terhadap Kuat Tekan. 7(2), 2–8. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v7i2.1894>

Siti Mustika Sari, Hariyadi, Maya Saridewi Pascanawaty, Adryan Fitrayudha: *Analisis Durabilitas Beton dengan Campuran Limbah Kaca terhadap Serangan Sulfat*

Santoso, A. (2021). PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT KASAR LAMPUNG DAN BOJONEGORO TERHADAP KUAT TEKAN BETON. 5–35. <https://eprints.polsri.ac.id/11797/3/File III.pdf>

Suku, Y. L. (2024). Fakultas teknik universitas wiraraja sumenep - madura. 12(2), 187–196.