

KAJIAN KINERJA MEKANIS LIMBAH KACA SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS UNTUK INOVASI BETON BERKELANJUTAN

Oktora Ivandro¹, Muhammad Fandy Hakim Saverio¹, Minerva Yumna Zharifah¹, Vira Julang
Wibawa Sakti¹, Yenny Nurchasanah^{1*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

*Email: yn205@ums.ac.id

Abstrak

Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan karena memiliki kekuatan terhadap tekanan yang tinggi, namun penggunaannya secara masif berdampak pada peningkatan eksploitasi sumber daya alam dan limbah lingkungan. Salah satu limbah yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah kaca yang jumlahnya terus meningkat dan sulit terurai secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton ramah lingkungan. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai penelitian terdahulu yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa limbah kaca memiliki kandungan silika yang tinggi dan karakteristik fisik yang menyerupai agregat halus, sehingga dapat digunakan sebagai bahan substitusi dalam campuran beton. Penggunaan limbah kaca pada persentase tertentu mampu meningkatkan kekuatan tekan beton, namun perlu diperhatikan potensi reaksi alkali-silika yang dapat mempengaruhi durabilitas. Kesimpulannya, limbah kaca memiliki potensi sebagai alternatif material ramah lingkungan dalam beton, serta dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan jika dimanfaatkan secara optimal.

Kata kunci: agregat halus, beton ramah lingkungan, limbah kaca, substitusi material

Abstract

Concrete is a widely used construction material due to its high compressive strength. However, its extensive use contributes to increased exploitation of natural resources and environmental waste. One type of waste with potential for utilization is glass waste, which continues to accumulate and is difficult to decompose naturally. This study aims to examine the use of glass waste as a substitute for fine aggregate in environmentally friendly concrete mixtures. The method used is a literature review by collecting and analyzing various relevant previous studies. The results show that glass waste has a high silica content and physical characteristics similar to fine aggregate, making it suitable as a substitute material in concrete mixtures. The use of glass waste at certain percentages can improve the compressive strength of concrete, however the potential for alkali-silica reaction must be considered as it may affect durability. In conclusion, glass waste has potential as an alternative environmentally friendly material in concrete and can help reduce environmental pollution if utilized optimally.

Keywords: concrete, glass waste, fine aggregate substitution, compressive strength, environmentally friendly material

1. PENDAHULUAN

Beton adalah jenis bahan yang kerap ditemui dan dimanfaatkan sebagai salah satu komponen bangunan. Material beton ini memiliki karakteristik kekuatan terhadap tekanan. Seiring berjalannya waktu, kemajuan teknologi akan terus meningkat, dan kemajuan di sektor teknik sipil juga tidak kalah pesatnya setiap harinya (Muharram & Walujodjati, 2022). Industri bangunan masa kini semakin diharuskan untuk memanfaatkan bahan-bahan yang tak hanya kokoh dan awet, tetapi juga ramah dengan lingkungan. Beton telah menjadi bahan utama dalam proyek infrastruktur karena kelebihanannya dalam daya tahan terhadap tekanan dan kemudahan dalam aplikasinya (Krisnanto & Munthe, 2025).

Hal ini menyebabkan adanya peningkatan permintaan terhadap beton yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan serta merusak sumber daya alam. Dengan demikian, dibutuhkan solusi yang tepat untuk mengurangi dampak negatif akibat penggunaan beton yang berlebihan. Salah satu alternatifnya adalah beton yang ramah lingkungan (*green concrete*). Beton jenis ini memerlukan energi yang lebih sedikit dalam proses produksinya dan menghasilkan emisi CO₂ yang jauh lebih rendah dibandingkan beton konvensional, sehingga berkontribusi pada pembangunan yang berkelanjutan (Olii dkk., 2021).

Pada tahun 2020, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melaporkan bahwa total sampah di level nasional mencapai 67,8 juta ton. Pemerintah perlu menerapkan kebijakan serta melakukan

usaha yang sangat signifikan agar masalah sampah tidak terus bertambah parah. Apabila hanya menjalankan rutinitas seperti biasa, diperkirakan pada tahun 2050 jumlah sampah akan meningkat lebih dari dua kali lipat (Diana dkk., 2021). Limbah kaca merupakan salah satu jenis limbah yang sulit terurai secara alami oleh mikroorganisme di dalam tanah. Akibatnya, limbah kaca dapat tertahan lama di lingkungan dan berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kaca sebagai salah satu material dalam campuran beton menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk membantu mengurangi jumlah limbah kaca di Indonesia (Olii dkk., 2021).

Kaca memiliki komposisi utama berupa kandungan mineral yang tinggi silika (SiO_2), soda (Na_2O), serta kapur (CaO), yang memiliki partikel tajam, di samping itu kaca juga bebas dari lumpur. Untuk agregat halus, mineral yang terkandung adalah senyawa silika (SiO_2) yang juga memiliki partikel tajam, dan tingkat lumpur tidak boleh melebihi 5%. Dengan demikian, limbah kaca yang dimanfaatkan sebagai substitusi untuk sebagian agregat halus memiliki sifat yang serupa dengan agregat halus sehingga menghasilkan beton dengan kinerja tinggi (Wibowo dkk., 2025).

Beberapa penelitian terdahulu telah menjadikan limbah kaca sebagai bahan tambahan dalam pembuatan batako serta digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam beton. Namun, limbah kaca lebih cocok jika digunakan sebagai pengganti agregat halus dan semen. Penggunaan pecahan limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terbukti cukup efektif dalam meningkatkan kekuatan tekan beton konvensional dengan variasi tertentu. Limbah kaca juga digunakan sebagai pengganti sebagian abu terbang pada beton geopolimer, yang membuat beton tersebut digunakan untuk pembuatan *paving block* (Sandika dkk., 2025).

Banyaknya limbah kaca yang dihasilkan dari aktivitas industri dan rumah tangga menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dimanfaatkan dengan baik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan limbah kaca sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton. Meskipun banyak penelitian menunjukkan hasil yang positif, mayoritas dari penelitian tersebut masih terfokus pada eksperimen di laboratorium dengan campuran dan metode pengujian yang berbeda. Hal ini mengakibatkan terjadi kesenjangan dalam hal standar baku mengenai proporsi yang optimal. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan terhadap berbagai penelitian terdahulu mengenai penggunaan limbah kaca pada beton serta pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton, khususnya kuat tekan dan kuat tarik. Selain itu, kajian ini juga membahas variasi persentase penggunaan limbah kaca yang dapat menghasilkan kinerja beton yang optimal. Melalui kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai potensi pemanfaatan limbah kaca sebagai material alternatif dalam pembuatan beton yang lebih ramah lingkungan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode literatur atau studi literatur (artikel review), yang bertujuan untuk menganalisis dan mengkaji efektivitas penggunaan limbah kaca sebagai bahan alternatif pada beton yang telah diteliti berbagai publikasi ilmiah. Fokus utama pada artikel ini adalah perbandingan antara penggunaan limbah kaca, serta bahan-bahan alternatif lainnya pada beton seperti limbah keramik.

Penggunaan metode literatur atau studi literatur (artikel review) dengan menganalisis dari 25 artikel ilmiah nasional yang diterbitkan dengan jarak 5 tahun (2021 hingga 2026) yang terkait dengan pemanfaatan limbah khususnya limbah kaca pada beton. Artikel yang dianalisis dapat diperoleh dari *database* seperti *Scopus*, *Google Scholar*, dan *Garuda*. Artikel yang dianalisis akan berfokus pada pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan alternatif pada beton maupun pemanfaatan pada hal lainnya serta hasil laboratorium yang membahas mengenai kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah pada beton menggunakan alternatif limbah kaca.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kaca adalah suatu material padat yang bersifat bening dan transparan, namun memiliki kerentanan tinggi terhadap pecah akibat karakteristik rapuhnya saat menerima benturan kuat. Material ini diproduksi dari berbagai komponen kimiawi, antara lain pasir silika (SiO_2), *soda gamping*, *feldspar*, *boraks*, *kerak garam*, *kullet*, *arsen trioksida*, serta *blok refraktori*, yang diproses melalui peleburan suhu tinggi secara bertahap dalam tungku khusus industri dengan pengawasan ketat terhadap suhu dan komposisi bahan. Sifat khas kaca sangat berbeda bila dibandingkan dengan keramik, yang disebabkan oleh struktur *amorf* dan proses pembentukan unik dari silika yang tidak memiliki susunan kristal teratur seperti material padat lainnya, sehingga memberikan sifat optik dan mekanik yang berbeda signifikan (Daseno dkk., 2021).

Dengan demikian, pengelolaan limbah kaca sangat penting untuk menjaga kelestarian lingkungan. Upaya sederhana seperti memilah kaca dari jenis sampah lain, mengumpulkan untuk didaur ulang, serta memanfaatkan kembali dalam bentuk kerajinan, dapat memberikan dampak positif yang besar. Kesadaran masyarakat, dukungan pemerintah, dan keterlibatan industri merupakan kunci utama dalam menciptakan sistem pengelolaan limbah kaca yang berkelanjutan (Olii dkk., 2021)

3.1 Limbah Sebagai Alternatif Pada Beton

Perkembangan sektor konstruksi bangunan memiliki pengaruh negatif pada lingkungan akibat eksploitasi yang berlebihan. Agregat kasar menjadi salah satu material yang terdampak dari penambangan yang berlebihan, sehingga diperkirakan ketersediaan di alam semakin menyusut. Penggunaan limbah sebagai alternatif material pun berkontribusi dalam mengatasi masalah pasokan bahan alami yang semakin berkurang. Selain kaca, juga terdapat limbah keramik yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai material substitusi agregat halus (Karimah & Rusdianto, 2021).

Seperti limbah industri lainnya, ampas kopi memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen atau agregat halus yang bersifat *pozzolan* dan mengandung silika serta memiliki ukuran partikel yang kecil. Bahan yang berasal dari sisa pembakaran di tungku maupun pemanfaatan limbah yang diproses menjadi abu dengan kandungan silika aktif. Silika adalah material yang memiliki kadar SiO_2 yang tinggi, sehingga bila dilihat dari aspek mekaniknya, silika dapat mengisi celah di antara bahan semen. Proses pengisian celah dalam beton ini memberikan dampak yang positif terhadap peningkatan kekuatan tekan beton secara signifikan (Panjaitan dkk., 2021).

Demikian juga dengan limbah abu yang berasal dari sekam padi yang merupakan limbah hasil pembakaran kulit padi, biasanya mengandung silika lebih dari 90% yang berkisar antara 87% sampai dengan 97% sehingga dapat berfungsi sebagai alternatif *fly ash* dalam pembuatan beton. Abu sekam padi (ASP) adalah jenis material yang memiliki sifat *pozzolan*, sehingga mampu meningkatkan kekuatan tekan mortar standar berkat kandungan silika yang tinggi karena proses penyerapan tanah. Harga satuan ASP di pasaran juga relatif murah, bahkan dapat diperoleh secara gratis karena berasal dari sekam padi hasil produksi padi yang sangat mudah ditemukan hampir di seluruh Indonesia (Desimaliana dkk., 2024).

3.2 Pemanfaatan Limbah Kaca Pada Beton

Kaca adalah limbah anorganik yang belum dikelola secara maksimal sehingga dapat menimbulkan masalah lingkungan. Bentuknya yang keras dapat digunakan sebagai agregat kasar campuran dalam pembuatan beton. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi pengaruh penambahan agregat campuran kaca dalam pembuatan beton dan dampaknya terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan. Penambahan limbah kaca dalam campuran beton dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Perlu diperhatikan bahwa penggunaan limbah kaca dapat mempengaruhi durabilitas beton terkait dengan fenomena reaksi alkali silika (ASR). Pada salah satu pengujian reaksi alkali silika menyimpulkan bahwa semakin besar rasio penambahan panjang pada pengujian reaksi alkali silika akan menghasilkan penurunan kuat tekan dan kuat lentur yang lebih besar pula. Untuk mengatasi risiko ASR, beberapa penelitian telah mengeksplorasi penggunaan bahan tambahan seperti *kalsium hidroksida* (Bagus dkk., 2026).

Penelitian lain menunjukkan bahwa pengaruh penggantian sebagian *fly ash* dengan berbagai sumber *kalsium hidroksida* terhadap karakteristik mortar. Penelitian tersebut menemukan bahwa penambahan kalsium hidroksida dari limbah karbit dan gamping dapat meningkatkan kuat tekan mortar, penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan *kalsium hidroksida* dapat mempengaruhi reaksi kimia dalam beton yang mengandung limbah kaca. Agregat yang mengandung silika bisa bersifat reaktif maupun non-reaktif terhadap unsur alkali pada semen. Dengan demikian, penelitian mengenai penambahan *kalsium hidroksida* dalam beton dengan campuran limbah kaca terhadap fenomena ASR menjadi relevan untuk mengkaji potensi mitigasi risiko ASR dan meningkatkan durabilitas beton (Bagus dkk., 2026).

3.3 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah jumlah maksimum beban yang dapat diterima per satuan luas, yang menyebabkan beton mengalami keruntuhan ketika dikenakan dengan gaya tertentu yang dihasilkan oleh alat mesin tekan (Dewi dkk., 2021). Anggarini & Hardiani (2023) juga menyatakan bahwa kuat tekan beton adalah jumlah beban per unit area, yang mengakibatkan specimen beton rusak saat diberikan tekanan dengan kekuatan tertentu yang ditimbulkan oleh mesin pemampat.

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah khususnya limbah kaca telah dilakukan antara lain oleh Selvakumar, Geetha, Rangan, Sithrubi, dan Sathyashriya (*In Press*) dengan judul “*Effect of glass powder as partial fine aggregate replacement on properties of basalt fibre reinforced concrete*”. Penelitian ini menggunakan limbah kaca dan serat *basalt* sebagai agregat halus untuk memproduksi beton berkualitas tinggi. Dari pengujian yang dilakukan, menunjukkan bahwa penggantian 10% serbuk kaca dapat meningkatkan kekuatan dan menunjukkan ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan beton konvensional dengan nilai kuat tekan mencapai 84,5 MPa (Diana dkk., 2021).

Penelitian oleh Wijaya (2024) untuk benda uji dengan persentase penambahan limbah serbuk kaca sebanyak 5% dari berat semen menghasilkan nilai rata-rata kuat tekannya sebesar 32,15 MPa. Selanjutnya untuk benda uji dengan persentase penambahan limbah serbuk kaca sebanyak 10% terhadap berat semen menghasilkan nilai rata-rata kuat tekannya sebesar 32,89 MPa, serta penambahan persentase limbah serbuk kaca sebanyak 15% dari berat semen menghasilkan kuat tekan sebesar 21,33 MPa pada beton umur 28 hari (Wijaya, 2024).

Widarto dkk., (2025) juga mengeksplorasi karakteristik beton dengan mengganti agregat halus menggunakan serbuk kaca dengan variasi 15% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 22,8 MPa dengan umur beton 28 hari, lebih tinggi dibandingkan beban kontrol yang bernilai 20,82 MPa. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah kaca dapat dimanfaatkan dalam beton serta dapat meningkatkan kekuatan tekan beton, tetapi juga harus memperhatikan sifat dan karakteristiknya (Widarto, 2025).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Dharma dkk., (2025) dengan melakukan penambahan serbuk kaca pada proporsi 5%, 10%, dan 20% menunjukkan hasil penurunan kekuatan tekan secara konsisten, yang mengindikasikan bahwa semakin besar proporsi serbuk kaca yang digunakan dalam campuran beton, maka kekuatan mekanis yang dihasilkan cenderung semakin menurun akibat berkurangnya ikatan antar material penyusun beton, pada beberapa variasi tersebut, penurunan terbesar terjadi pada variasi 20% yang menghasilkan nilai kuat tekan 5,88 MPa, kemudian pada variasi 10% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 8,83 MPa, serta serbuk kaca pada variasi 5% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 9,19 MPa (Dharma dkk., 2025). Hasil analisis perbandingan kuat tekan terhadap variasi penambahan serbuk kaca di atas telah disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan Persentase Variasi Penambahan Limbah Kaca Dengan Kuat Tekan Beton

Peneliti (Tahun)	Variasi	Hari	Bentuk Sampel	Kuat Tekan
Selvakumar, dkk. (2021)	10%	-	-	84,5 MPa
Wijaya (2024)	5%	28	Kubus (15 x 15 cm)	32,15 MPa
	10%	28		32,89 MPa
	15%	28		21,33 MPa
Widarto, dkk. (2025)	15%	28	Silinder (30 x 15 cm)	22,8 MPa
Dharma, dkk. (2025)	5%	28	-	9,19 MPa
	10%	28	-	8,83 MPa
	20%	28	-	5,88 MPa

Tabel di atas menunjukkan bahwa penelitian oleh Wijaya dengan variasi 5% dan 10% menghasilkan kuat tekan yang relatif tinggi, namun menurun pada variasi 15%. Hal serupa juga terlihat pada penelitian Widarto dkk. dengan variasi 15% yang menghasilkan kuat tekan lebih rendah. Sementara itu, penelitian Dharma dkk. menunjukkan penurunan kuat tekan secara konsisten dari 5% hingga 20%. Pada penelitian Selvakumar dkk., menunjukkan nilai kuat tekan yang tinggi sebesar 84,5 MPa karena pada penelitian tersebut terdapat perbedaan bahan susun beton yang berbeda dari penelitian lain yaitu dilakukan penambahan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen serta penambahan serat basalt sebesar 5%, sehingga campuran beton yang dihasilkan memiliki nilai kuat tekan yang tinggi (Selvakumar dkk., 2021). Secara keseluruhan, penggunaan limbah kaca lebih optimal pada variasi rendah, karena pada peningkatan jumlah persentase variasi cenderung menurunkan nilai kuat tekan beton.

3.4 Kuat Lentur

Kuat lentur beton merupakan kemampuan dari balok beton yang diletakkan pada dua titik untuk menahan gaya yang diterapkan secara tegak lurus terhadap sumbu dari objek yang diuji hingga objek tersebut patah, diukur dalam Mega Pascal (MPa) per satuan luas (Mawarni dkk., 2025).

Penelitian oleh Pranoto dkk., (2024) menunjukkan bahwa variasi persentase serbuk kaca berpengaruh pada kuat lentur beton. Nilai kuat lentur meningkat seiring peningkatan persentase campuran, mencapai peningkatan tertinggi sebesar 41,55% dari variasi terendah. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dapat meningkatkan kuat lentur beton, terutama pada persentase lebih tinggi. Penelitian ini menunjukkan nilai kuat lentur beton umur 28 hari tertinggi pada variasi 20%, yaitu sebesar 3,597 MPa (Pranoto dkk., 2024).

Penelitian lain dengan persentase penambahan limbah serbuk kaca sebanyak 5% dari berat semen menghasilkan nilai rata-rata kuat lenturnya sebesar 4,89 . Selanjutnya untuk benda uji dengan persentase penambahan limbah serbuk kaca sebanyak 10% terhadap berat semen menghasilkan nilai rata-rata kuat lenturnya sebesar 4,91 MPa. Terakhir untuk benda uji dengan persentase penambahan limbah serbuk kaca sebanyak 15% dari berat semen menunjukkan nilai rata-rata kuat lenturnya sebesar 4,98 MPa. Diketahui dari uraian tersebut menunjukkan bahwa persentase kadar penambahan limbah serbuk kaca yang optimal untuk kuat lentur beton adalah sebanyak 15% dengan menghasilkan nilai kuat lentur rata-ratanya 4,98 MPa (Wijaya, 2024).

Pada penelitian oleh Selvakumar dkk., juga didapatkan hasil nilai kuat lentur sebesar 11 MPa dengan variasi serbuk kaca sebesar 10%, sehingga campuran tersebut dinilai memberikan pengaruh positif terhadap karakteristik dan kemampuan menahan beban lentur (Diana dkk., 2021). Hasil analisis perbandingan kuat lentur terhadap variasi penambahan serbuk kaca di atas telah disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan Persentase Variasi Penambahan Limbah Kaca Dengan Kuat Lentur Beton

Peneliti (Tahun)	Variasi	Hari	Bentuk Sampel	Kuat Lentur
Pranoto, dkk. (2024)	20%	-	-	3,597 MPa
Wijaya (2024)	5%	28	Kubus (15 x 15 cm)	4,89 MPa
	10%	28		4,91 MPa
	15%	28		4,98 MPa
Selvakumar, dkk. (2021)	10%	-	-	11 MPa

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa penelitian oleh Wijaya didapatkan peningkatan persentase dari 5% hingga 15% justru menunjukkan kenaikan kuat lentur, yaitu dari 4,89 MPa menjadi 4,98 MPa. Sementara itu, penelitian Pranoto dkk. dengan variasi 20% menghasilkan kuat lentur yang lebih rendah, yaitu 3,597 MPa. Pada pengujian kuat lentur, Selvakumar dkk. juga menambahkan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen serta serat basalt sebesar 5% ke dalam campuran beton. Penambahan bahan tersebut berperan dalam memperbaiki kinerja campuran beton, sehingga nilai kuat lentur yang dihasilkan menjadi lebih tinggi, yaitu mencapai 11 MPa (Selvakumar dkk., 2021). Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah kaca pada kadar tertentu dapat meningkatkan kuat lentur beton, namun pada kadar yang terlalu tinggi cenderung menurunkan nilainya.

3.4 Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah beton adalah salah satu indikator krusial dari ketahanan suatu beton. Pengukuran nilai tarik belah dilakukan melalui uji tekan di laboratorium dengan memberikan tekanan lateral pada objek uji silinder hingga mencapai batas kekuatan tertingginya. Pengujian ini dapat dilaksanakan pada beragam skala, kondisi, tipe, beban, serta dimensi objek yang diuji. Salah satu metode yang umum untuk menilai nilai tarik belah beton adalah melalui pengujian tarik belah yang biasanya menghasilkan data yang mencerminkan sejauh mana kekuatan tarik belah sesungguhnya, yang kemudian dimanfaatkan untuk menetapkan angka kuat tarik belah beton (Dewi dkk., 2021).

Widarto dkk., (2025) juga melakukan pengujian untuk kuat tarik belah beton dengan variasi 7,5% serbuk kaca dengan hasil nilai kuat tarik belah rata-rata 2,133 MPa dengan perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 48,73% : 51,27%. Selanjutnya pada pengujian dengan variasi 10% serbuk kaca didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata 1,711 MPa dengan perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 47,11% : 52,89%. Serta pada pengujian variasi 12,5% serbuk kaca didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata 1,378 MPa dengan perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 47,76% : 52,24%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada tiga variasi beton tersebut merata (Widarto dkk., 2025).

Penelitian lain menunjukkan adanya pengaruh dari peningkatan konsentrasi serat *fiberglass* terhadap kuat tarik belah beton. Rata - rata nilai kuat tarik belah beton meningkat seiring dengan peningkatan persentase

serat fiberglass mulai dari 0% hingga 0,75%. Pada variasi 0,75% serat *fiberglass* didapatkan nilai kuat tarik belah sebesar 3,74 MPa pada umur beton 28 hari. Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa penambahan serat fiberglass yang terlalu tinggi dapat berdampak negatif terhadap kuat tarik beton (Siagian, 2025). Hasil analisis perbandingan kuat tarik belah terhadap variasi penambahan serbuk kaca di atas telah disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Persentase Variasi Penambahan Limbah Kaca Dengan Kuat Tarik Belah Beton

Peneliti (Tahun)	Variasi	Hari	Bentuk Sampel	Kuat Tarik Belah
Widarto, dkk. (2025)	7,5%	28	Silinder (30 x 15 cm)	2,133 MPa
	10%			1,711 MPa
	12,5%			1,378 MPa
Siagian (<i>fiberglass</i>) (2025)	0,75%	28	-	3,74 MPa

Tabel di atas menunjukkan bahwa peningkatan kadar limbah kaca cenderung menurunkan nilai kuat tarik belah. Pada penelitian Widarto dkk. didapatkan nilai kuat tarik belah yang menurun dari 2,133 MPa pada variasi 7,5% menjadi 1,378 MPa pada variasi 12,5%. Di sisi lain, penelitian oleh Siagian menggunakan bahan limbah kaca non konvensional (*fiberglass*) menghasilkan nilai yang lebih tinggi sebesar 3,74 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa jenis limbah kaca sebagai bahan tambahan juga berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, pengaruh penambahan serbuk kaca terhadap nilai kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton menunjukkan hasil yang berbeda-beda pada setiap variasi campuran. Perbedaan hasil tersebut dipengaruhi oleh jenis dan ukuran partikel serbuk kaca yang digunakan, serta penggunaan bahan penambah seperti *superplasticizer* dan serat basalt, selain itu juga dipengaruhi oleh perbedaan metode pencampuran dan pengujian pada masing-masing penelitian.

Kesimpulan dari analisis tersebut menekankan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai pengganti agregat halus dalam beton memiliki potensi yang signifikan untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan sekaligus mengurangi dampak negatif lingkungan akibat penumpukan limbah anorganik. Tinjauan pustaka menunjukkan bahwa tingginya kandungan silika dalam kaca menjadikannya sebagai material yang sebanding dengan agregat halus alami, sehingga mampu memperbaiki sifat mekanis beton pada variasi tertentu.

Selain itu, pengujian kuat tarik belah juga menunjukkan hasil yang memuaskan, terutama jika dipadukan dengan bahan tambahan lainnya seperti serat *fiberglass*. Namun, risiko terjadinya reaksi alkali silika (ASR) harus diwaspadai melalui penambahan bahan mitigatif seperti *kalsium hidroksida* untuk menjaga daya tahan beton. Dengan cara ini, pemanfaatan limbah kaca sebagai alternatif material menawarkan solusi untuk masalah lingkungan dan juga dapat menciptakan peluang untuk menghasilkan beton yang ramah lingkungan dengan kinerja mekanis yang unggul, tetapi proporsi penambahan limbah kaca juga harus diatur dengan benar dan sesuai dengan standar konstruksi berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarini, E., & Hardiani, D. P., (2023). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Substitusi Semen terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Normal 30 MPa. *Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 51-62. <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/article/view/11559>
- Bagus, I., Pradipta, E., & Rahardianto, T. (2026). Pengaruh penambahan Kalsium Hidroksida dalam campuran Mortar Dengan Limbah Kaca terhadap Kuat Tekan Mortar dan fenomena ASR (Alkali Silica Reaction). 7, 192–197. <http://jurnal.polinema.ac.id/index.php/jos-mrk/article/view/8987>
- Daseno, A., W., Komari, A., & Santoso, H, B. (2021). Perencanaan Pengelolaan Limbah Kaca Grafir Menjadi Produk Inovasi Baru Guna Menambah Pendapatan Perusahaan (Studi Kasus Pada UD. Pelangi Art Glass). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Industri Universitas Kadiri*, 3(1), 24–36. <https://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmatis/article/download/1403/1315>
- Desimaliana, E., Shima, R. D., & Musyaffa, F. (2024). Analisis Biaya terhadap Pengaruh Penggunaan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi pada Mortar Geopolimer. *Journal of Sustainable Construction*, 3(2), 45–53. <https://doi.org/10.26593/josc.v3i2.7905>
- Dewi, S. U., & Prasetyo, F., (2021). Analisa penambahan Bottom Ash terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik

- Belah Beton. *02(02)*, 31–45. <https://bit.ly/3OOAf8p>
- Dharma, F. A., Ariyanto, L., & Dewantoro, Fajar. (2025). Perbandingan Kuat Tekan Beton dengan Campuran Serbuk Kaca. *17*, 95–104. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/article/view/28437>
- Diana, A. I. N., Fansuri, S., & Zainah, N. (2021). Bubuk Limbah Botol Kaca sebagai Pengganti Parsial Agregat Halus dalam Campuran Beton. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, *4(1)*, 27–34. <https://bit.ly/limbahbotolkacasebagaipenggantiparsialagregathalus>
- Karimah, R., & Rusdianto, Y. (2021). Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Agregat Halus Pada Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Media Teknik Sipil*, *19(1)*, 17–23. <https://doi.org/10.22219/jmts.v19i1.15386>
- Krisnanto, E., & Munthe, A. T. (2025). Pengaruh Substitusi Limbah Granit dan Limbah Botol Kaca terhadap Kuat Tekan, Slump, dan Daya Serap Beton dengan Penambahan Sikacim. *Momentum Jurnal Inovasi Dan Rekayasa Teknik Sipil*, *1(2)*, 35–43. <https://doi.org/10.64123/mjirts.v1.i2.1>
- Mawarni, E., Aditya, C., & Halim, A. (2025). Perbandingan Kuat Lentur Beton Berserat antara Serat Fabrikasi (Micro Fibers) dan Serat Alam (Serabut Kelapa). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, *5(1)*. <https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/bouwplank/article/view/630>
- Muharram, M. F., & 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)*, 310–317. <https://doi.org/10.33364/konstruksi.v.19-2.917>
- Olii, M. R., Poe, I. E., Ichsan, I., & Olii, A. (2021). Limbah Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Untuk Beton Ramah Lingkungann. *Jurnal Teknik Sipil*, *11(1)*, 113–124. <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v11i1.407>
- Panjaitan, A. N., Ramadhani, R. S., & Sitanggang, E, S, Y. (2021). Pengaruh Abu Ampas Kopi Terhadap Kuat Tekan, Porositas sebagai pengganti Semen pada Pembuatan Beton. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *1*, 1–5. <https://doi.org/10.51510/agregat.v1i1.84>
- Pranoto, Y., Dari, Y. W., & Hidayat, M. (2024). Pengaruh penggunaan Limbah Botol Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus terhadap Kuat Tekan dan Lentur Beton. *Jurnal Rekayasa*, *14(2)*, 121-131. <https://jurnalrekayasa.bunghatta.ac.id/index.php/JRFTSP/article/view/228>
- Sandika, F. G., Desimaliana, E., & Dewi Shima, R. (2025). Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran Mortar Geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil*, *11(01)*, 52–62. <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/13595>
- Selvakumar, M., Geetha, S., Rangan, S. K., Sithrubi, T., & Sathyashriya, K. (2021). Effect of glass powder as partial fine aggregate replacement on properties of basalt fibre reinforced concrete. *Materials Today: Proceedings*, *43*, 1460–1464. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.299>
- Siagian, T. (2025). Pengaruh Penambahan Serat Fiberglass Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, *13(1)*, 21–28. <https://ejurnal.univamedan.ac.id/index.php/alulum/article/view/561>
- Wibowo, M. A., & Anjarwati, S. (2025). Pemanfaatan Limbah Kaca dan Granit sebagai Substitusi Agregat Halus dan Kasar terhadap Properties Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, *2*. *20(2)*. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i2.54293>
- Widarto, M. R. H. (2025). Analisis Karakteristik Beton dengan Variasi Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Beton Berkelanjutan. *Jurnal Teknik*, *05(02)*, 685–693. <https://jurnalteknikpasifik.id/index.php/jts/article/view/226>
- Wijaya, S., P., I. (2024). Analisis pengaruh penambahan Limbah Serbuk Kaca pada Beton terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur dan Absorpsi. *Skripsi*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, *2*, 306–312. <https://eprints.ums.ac.id/id/eprint/117289>