E-ISSN: 3025-0994
Halaman 5355-5364
Volume 4 Nomor 3 Tahun 2026

Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Kaca Sebagai Aditif Pozzolan Terhadap Karakteristik Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Mutu Tinggi

Wahyu Widodo[1], Ninik Paryati[2*], Rika Sylviana[3]

[1,2,3] Universitas Muhammadiyah Indonesia, Indonesia
e-mail: nparyati3@gmail.com

Abstrak

Beton mutu tinggi memiliki kuat tekan di atas 41,4 MPa, namun penggunaan semen dalam jumlah besar meningkatkan biaya dan emisi karbon. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan serbuk limbah kaca sebagai bahan aditif pozzolan terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton mutu tinggi serta menentukan persentase optimum penggunaannya. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium pada beton rencana f'c 42 MPa dengan variasi serbuk limbah kaca sebesar 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada umur 28 hari sesuai standar SNI dan ASTM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk limbah kaca meningkatkan sifat mekanik beton. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 15% sebesar 48,7 MPa (meningkat 8,90%), sedangkan kuat tarik belah tertinggi pada variasi 10% sebesar 4,0 MPa (meningkat 17,81%) dibandingkan beton normal. Berdasarkan kedua parameter tersebut, penggunaan serbuk limbah kaca sebesar 10% merupakan komposisi optimum karena memberikan peningkatan yang seimbang terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah serta berpotensi mendukung konstruksi berkelanjutan.

Kata Kunci: Beton Mutu Tinggi, Serbuk Limbah Kaca, Pozzolan, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah

Abstract

High-strength concrete possesses a compressive strength exceeding 41.4 MPa; however, the use of large quantities of cement increases costs and carbon emissions. This study aims to analyze the effect of adding waste glass powder acting as a pozzolanic additive on the compressive strength and splitting tensile strength of high-strength concrete, and to determine the optimum usage percentage. Laboratory experiments were conducted on concrete designed for a compressive strength (f'c) of 42 MPa, incorporating waste glass powder at levels of 5%, 10%, and 15% of the cement weight. Compressive and splitting tensile strength tests were performed at 28 days in accordance with SNI and ASTM standards. The results indicate that the addition of waste glass powder enhances the mechanical properties of the concrete. The highest compressive strength was achieved with

the 15% variation at 48.7 MPa (an increase of 8.90%), while the highest splitting tensile strength was observed with the 10% variation at 4.0 MPa (an increase of 17.81%) compared to control concrete. Based on these parameters, a 10% inclusion of waste glass powder represents the optimum composition, as it provides a balanced improvement in both compressive and splitting tensile strengths and offers potential support for sustainable construction.

Keywords : High-Strength Concrete, Waste Glass Powder, Pozzolan, Compressive Strength, Splitting Tensile Strength

LATAR BELAKANG

Beton mutu tinggi merupakan material konstruksi yang memiliki kuat tekan lebih dari 41,4 MPa sesuai SNI 7656:2012 dan banyak digunakan pada pembangunan gedung bertingkat, jembatan, pelabuhan, jalan layang, serta berbagai struktur yang memerlukan kekuatan, kekakuan, dan durabilitas tinggi. Seiring dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur, kebutuhan terhadap beton mutu tinggi juga terus mengalami peningkatan karena mampu memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan beton normal, terutama dalam menahan beban yang besar dan memberikan umur layanan struktur yang lebih panjang. Meskipun demikian, pembuatan beton mutu tinggi memerlukan penggunaan semen dalam jumlah yang relatif lebih banyak sehingga menyebabkan biaya produksi menjadi lebih tinggi. Selain berdampak pada aspek ekonomi, tingginya penggunaan semen juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena proses produksi semen menghasilkan emisi karbon yang cukup besar. Industri semen bahkan diketahui menyumbang sekitar 8% dari total emisi CO_2 global, sehingga diperlukan berbagai inovasi untuk mengurangi penggunaan semen tanpa menurunkan kualitas beton yang dihasilkan.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan semen adalah dengan memanfaatkan bahan pengikat suplementer (*Supplementary Cementitious Materials* atau SCM) yang berasal dari limbah industri maupun limbah padat lainnya. Pemanfaatan limbah sebagai bahan tambahan beton tidak hanya mampu mengurangi konsumsi semen, tetapi juga menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan lingkungan akibat meningkatnya jumlah limbah yang belum termanfaatkan secara optimal. Berbagai jenis limbah telah dikembangkan sebagai SCM, seperti abu terbang (*fly ash*), slag, silica fume, abu sekam padi, hingga limbah kaca. Di antara berbagai jenis limbah tersebut, limbah kaca memiliki potensi yang sangat baik karena tersedia dalam jumlah yang melimpah dan sebagian besar masih berakhir di tempat pembuangan akhir. Padahal, kaca merupakan material yang sangat sulit terurai secara alami sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Limbah kaca memiliki kandungan silika amorf yang cukup tinggi, yaitu sekitar 70–75%, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan. Apabila limbah kaca dihaluskan menjadi serbuk dengan ukuran partikel yang sangat halus, material tersebut mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan dari proses hidrasi semen. Reaksi pozzolanik tersebut menghasilkan gel *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H), yaitu

senyawa utama yang berperan dalam memberikan kekuatan pada beton. Pembentukan gel C-S-H tambahan mampu memperbaiki struktur mikro beton dengan mengurangi jumlah pori-pori sehingga beton menjadi lebih padat, lebih kuat, dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap berbagai pengaruh lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan serbuk limbah kaca sebagai bahan tambahan beton tidak hanya berpotensi meningkatkan sifat mekanik beton, tetapi juga dapat meningkatkan durabilitasnya.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan serbuk limbah kaca memberikan hasil yang cukup menjanjikan terhadap peningkatan sifat mekanik beton. Efektivitas serbuk kaca sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel yang digunakan. Semakin halus ukuran partikel serbuk kaca, semakin besar luas permukaan yang dapat bereaksi dengan hasil hidrasi semen sehingga aktivitas pozzolaniknya menjadi lebih optimal. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penambahan serbuk kaca dalam persentase tertentu mampu meningkatkan kuat tekan maupun kuat tarik beton. Namun demikian, penggunaan serbuk kaca dalam jumlah yang terlalu besar juga dapat menurunkan kekuatan beton akibat berkurangnya kandungan semen efektif dalam campuran. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kadar penambahan serbuk limbah kaca yang paling optimum, khususnya pada beton mutu tinggi yang memiliki karakteristik berbeda dengan beton normal.

Pada penelitian ini digunakan serbuk limbah kaca yang berasal dari sisa proyek konstruksi sebagai bahan tambahan pada campuran beton mutu tinggi dengan kuat tekan rencana (f'c) sebesar 42 MPa. Limbah kaca terlebih dahulu dihaluskan hingga lolos saringan No. 200 (0,075 mm) agar memiliki ukuran partikel yang cukup halus sehingga reaksi pozzolanik dapat berlangsung secara maksimal. Serbuk limbah kaca kemudian ditambahkan ke dalam campuran beton dengan variasi sebesar 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Penggunaan beton mutu tinggi dipilih karena kandungan semen yang relatif tinggi menghasilkan kalsium hidroksida dalam jumlah yang cukup untuk mendukung berlangsungnya reaksi pozzolanik antara serbuk kaca dan hasil hidrasi semen. Dengan demikian, potensi peningkatan sifat mekanik beton akibat penambahan serbuk kaca dapat diamati secara lebih optimal.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk limbah kaca sebagai aditif pozzolan terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton mutu tinggi serta menentukan persentase penambahan yang memberikan hasil paling optimum. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah beton, sekaligus menjadi salah satu alternatif dalam pengembangan beton yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan. Selain memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi beton, penelitian ini juga diharapkan dapat mendukung upaya pengurangan limbah kaca dan pengurangan penggunaan semen sehingga berkontribusi terhadap pembangunan konstruksi yang lebih berwawasan lingkungan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Benda uji yang digunakan berupa beton silinder berukuran 150 mm × 300 mm,

yang terdiri atas beton normal (0%) sebagai kontrol serta beton dengan penambahan serbuk limbah kaca sebesar 5%, 10%, dan 15% dari berat semen.

Penelitian ini dilaksanakan di PT Adhimix *Precast* Indonesia Plan Cakung yang beralamatkan di Jalan Raya Cakung Cilincing Kav 45, KM 1,0, Cakung, Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13910. Penelitian ini dimulai pada tanggal 17 April 2026 sampai dengan 16 Mei 2026.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan benda uji beton mutu tinggi yang dibagi ke dalam empat variasi campuran berdasarkan persentase penambahan pasir kaca sebagai bahan substitusi pasir. Variasi pertama merupakan beton tanpa penambahan pasir kaca (0%) sebagai beton normal atau kontrol (TM N), sedangkan variasi berikutnya menggunakan penambahan pasir kaca sebesar 5% (TM 5), 10% (TM 10), dan 15% (TM 15) dari berat pasir. Setiap variasi terdiri atas enam benda uji sehingga jumlah keseluruhan benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 24 benda uji. Pembagian variasi tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir kaca terhadap sifat mekanik beton serta menentukan persentase penambahan yang memberikan hasil paling optimum.

Tahapan penelitian diawali dengan kegiatan persiapan yang meliputi pengadaan bahan dan peralatan yang diperlukan selama penelitian. Selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik material penyusun beton untuk memastikan bahwa seluruh material memenuhi persyaratan yang berlaku. Setelah itu dilakukan perancangan campuran beton (*mix design*) sesuai mutu beton yang direncanakan, kemudian dilanjutkan dengan proses pencampuran material, pembuatan benda uji sesuai variasi yang telah ditentukan, serta proses perawatan (*curing*) hingga mencapai umur pengujian. Tahap berikutnya adalah pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton untuk setiap variasi campuran. Seluruh data hasil pengujian kemudian dianalisis dan dibandingkan guna mengetahui pengaruh penambahan pasir kaca terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton serta menentukan persentase penambahan pasir kaca yang memberikan kinerja beton paling optimal.

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur untuk mengumpulkan teori, standar, dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan beton mutu tinggi serta pemanfaatan pasir kaca sebagai bahan substitusi agregat halus. Tahap berikutnya adalah persiapan material dan bahan, meliputi pengadaan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan pasir kaca, serta menyiapkan seluruh peralatan yang akan digunakan selama penelitian. Setelah itu dilakukan pengujian material untuk mengetahui karakteristik masing-masing bahan penyusun beton sehingga memenuhi persyaratan sebagai material campuran.

Tahap selanjutnya adalah perancangan campuran beton (*mix design*) sesuai mutu beton yang direncanakan, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji berdasarkan variasi penambahan pasir kaca yang telah ditentukan. Benda uji yang telah dibuat selanjutnya menjalani proses perawatan (*curing*) hingga mencapai umur pengujian. Setelah masa perawatan selesai, dilakukan pengujian kuat tekan beton untuk memperoleh data kekuatan beton pada masing-masing variasi campuran.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis pada tahap analisis data. Apabila hasil analisis belum memenuhi tujuan penelitian atau masih diperlukan pengujian ulang, maka proses kembali ke tahap pembuatan benda uji dan pengujian. Sebaliknya, apabila data yang diperoleh telah memenuhi kebutuhan penelitian, maka analisis dilanjutkan ke tahap hasil dan pembahasan, yaitu menginterpretasikan hasil pengujian dan membandingkannya dengan teori maupun penelitian terdahulu. Tahap terakhir adalah penyusunan kesimpulan dan saran sebagai rangkuman hasil penelitian serta rekomendasi untuk penelitian selanjutnya, sehingga seluruh rangkaian penelitian dinyatakan selesai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pegujian Kuat Tekan Beton

Seteleh melaksanakan pengujian 24 benda uji dan dianalisis untuk mengetahui hasil dari kenaikan maksimal beton dengan bahan tambah serbuk kaca, maka perlu dihitung rata-rata dari semua yang telah diuji kuat tekan beton, adapun hasil rata rata dari pengujian kuat tekan beton pervariasi adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Pengujian Kuat Tekan Beton

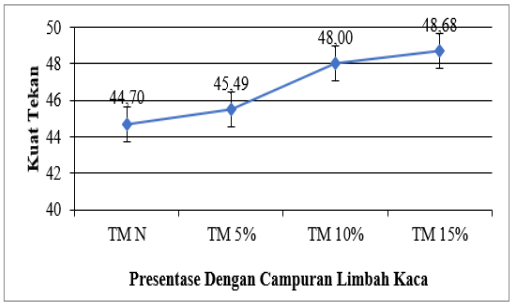
Komposisi Campuran	Hasil Kuat Tekan (MPa)	Hasil Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm²)
TM N	44,70	455,80
TM 5%	45,49	463,88
TM 10%	48,00	489,40
TM 15%	48,68	496,38
Rata-rata	46,72	476,36

Persentase kenaikan mutu dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Persentase Kenaikan Mutu Dari Hasil Pengujian

Variasi Penambahan Serbuk Limbah Kaca	Kenaikan Kuat Tekan Terhadap Persentase (%)
0%	0
5%	1,77
10%	7,38
15%	8,90

Hasil pengujian kuat tekan dapat diketahui bahwa hasil kenaikan kuat tekan optimum adalah 8,90% dari kuat tekan rata rata beton rencana yakni f'c 42 MPa, yakni 46,72 MPa yang dihasilkan dari variasi campuran beton 15% serbuk limbah kaca. Adapun grafik kenaikan kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Grafik Kenaikan Kuat Tekan Beton

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada benda uji silinder dengan mutu rencana f'c 42 MPa menggunakan *compression testing machine* (CTM). Benda uji diberi beban secara bertahap hingga mengalami retak atau pecah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk limbah kaca terhadap kuat tarik belah beton. Beban maksimum yang diperoleh kemudian dihitung menjadi nilai kuat tarik belah sesuai dengan persamaan yang digunakan, adapun hasil kuat tarik belah rata-rata adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

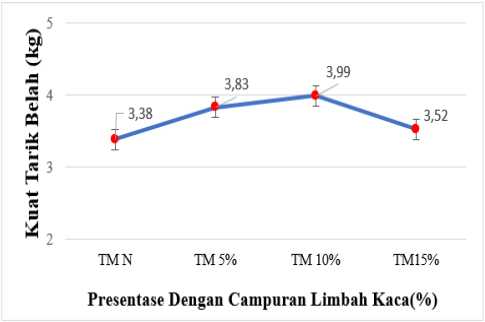
Komposisi Campuran	Hasil Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	Hasil Kuat Tarik Belah Rata-Rata (kg/cm²)
TM N	3,38	34,51
TM 5	3,83	39,01
TM 10	3,99	40,65
TM15	3,52	35,92
Rata-rata	3,68	37,52

Persentase kenaikan mutu dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Persentase Kenaikan Mutu Hasil Pengujian

Komposisi Campuran	Kenaikan Kuat Tarik Belah Terhadap Persentase (%)
Normal	0
5%	13,06
10%	17,81
15%	4,10

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa kenaikan optimum terjadi pada bahan tambah sebesar 10% dengan kenaikan sebesar 17,81% atau 3,99 MPa, sedangkan kenaikan terkecil terjadi pada variasi campuran 15% sebesar 4,1% atau sebesar 3,52 MPa. Adapun grafik kenaikan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Grafik Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang meliputi pembuatan campuran beton, pengujian slump, pengujian kuat tekan, dan pengujian kuat tarik belah, diperoleh data untuk setiap variasi campuran beton. Selanjutnya, data tersebut dianalisis dan direkapitulasi untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk limbah kaca terhadap karakteristik beton. Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada tabel berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi Hasi Pengujian

Komposisi Campuran	*Slump (cm)*	Hasil Kuat Tekan Rata-rata		Hasil Kuat Tarik Belah Rata-rata	
		MPa	Kg/cm²	MPa	Kg/cm²
TM N	16	44,7	455,8	3,4	34,9
TM 5	15	45,5	463,88	3,8	39
TM 10	14	48	489,4	3,99	40,6
TM 15	14	48,7	496,38	3,5	35,9
Rata-rata	14,75	46,7	476,36	3,7	37,6

Berdasarkan hasil pengujian, nilai slump mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase serbuk limbah kaca pada campuran beton dengan nilai faktor air-semen (FAS) yang tetap. Nilai slump rencana sebesar 16 cm hanya dicapai pada beton normal, sedangkan seluruh variasi serbuk limbah kaca menunjukkan penurunan nilai slump. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk limbah kaca menurunkan tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. Seluruh pengujian dilakukan sesuai dengan standar SNI dan ASTM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua variasi campuran memenuhi mutu rencana f'c 42 MPa. Beton normal memiliki kuat tekan rata-rata 44,70 MPa dengan nilai optimum 45,61 MPa, sedangkan kuat tarik belah rata-rata sebesar 3,38 MPa dengan nilai optimum 3,40 MPa.

Penambahan serbuk limbah kaca sebesar 5% menghasilkan kuat tekan rata-rata 45,49 MPa, meningkat 1,77% dibandingkan beton normal, sedangkan kuat tarik belah rata-ratanya mencapai 3,83 MPa, meningkat 13,06%. Pada variasi 10%, kuat tekan rata-rata meningkat menjadi 47,99 MPa atau 7,38% lebih tinggi dari beton normal, dengan kuat tarik belah rata-rata 3,99 MPa atau meningkat 17,81%. Sementara itu, variasi 15% menghasilkan kuat tekan rata-rata 48,68 MPa atau meningkat 8,90%, namun kuat tarik belah rata-ratanya menurun menjadi 3,52 MPa, sehingga peningkatannya hanya 4,10% dibandingkan beton normal. Secara keseluruhan, penambahan serbuk limbah kaca mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton dibandingkan beton normal. Variasi penambahan 10% memberikan kinerja yang paling optimum karena menghasilkan peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi serta lebih stabil dibandingkan variasi 15%, yang menunjukkan penurunan pada nilai kuat tarik belah meskipun kuat tekannya masih meningkat.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, mulai dari pemeriksaan material, perencanaan campuran beton (mix design), pembuatan dan perawatan benda uji, hingga pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan serbuk limbah kaca meningkatkan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi TM 15 (15%), yaitu 48,68 MPa, atau meningkat 8,90% dibandingkan beton normal.
2. Nilai kuat tarik belah tertinggi diperoleh pada variasi TM 10 (10%), yaitu 3,99 MPa, dengan peningkatan sebesar 17,81% dibandingkan beton normal.
3. Variasi penambahan serbuk limbah kaca sebesar 10% merupakan komposisi yang paling optimum karena memberikan peningkatan yang seimbang pada kuat tekan dan kuat tarik belah. Penambahan hingga 15% masih meningkatkan kuat tekan, tetapi menyebabkan penurunan nilai kuat tarik belah.
4. Seluruh tahapan penelitian, mulai dari pengujian material hingga pengujian beton, telah dilaksanakan sesuai dengan standar SNI dan ASTM.
5. Semua variasi campuran beton menghasilkan kuat tekan yang melebihi mutu rencana f'c 42 MPa, sehingga penambahan serbuk limbah kaca berpotensi digunakan sebagai bahan tambah pozzolan pada beton mutu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Afif, A. 2019. Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

ASTM-C33. (1993). Standard Specification For Concrete Aggregate

Badan Standardisasi Nasional. 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)

Badan Standardisasi Nasional. 2000. Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang (SNI 03-6468-2000) Jakarta

Badan Standardisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)

Badan Standardisasi Nasional. 2004. Semen Portland (SNI 15-2049-2004). Jakarta

Badan Standardisasi Nasional. 2004. Semen Portland Komposit (SNI 15-70642004)

Badan Standardisasi Nasional. 2004. Semen Portland Pozolan (SNI 15-03022004)

Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1670:2008)

Badan Standardisasi Nasional, 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974-2011)

Badan Standardisasi Nasional. 2011. Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium (SNI 2493-2011)

Badan Standardiasi Nasional. 2014. Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Belah Spesimen Beton Silinder (SNI 03-2491-2014)

Badan Standardiasi Nasional. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan (SNI 03-2847-2019)

Darmawan, A., Bestyan., Dan Gunawan. 2007. Pengaruh Substitusi Kaca
Terhadap Kuat Tekan Dan Suhu Reaksi Semen Portland. J. Kim. Sains & Apl. 10(3). 86-92
Du, H., Dan Tan, K. H. 2016. Properties Of High Volume Glass Powder Concrete. Cement And Concrete Composites
Gražulytė, J., Vaitkus, A., Šernas, O., Dan Čygas, D. 2020. Effect Of Silica Fume On High-Strength Concrete Performance. 5th World Congress On Civil, Structural, And Environmental Engineering (CSEE'20). 162. 1-6
Hadori, A., Pranoto, Y., & Sutarto, T. E. 2015. Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Fly Ash Dan Admixture Superplasticizer. Jurnal Inersia. 7(1). 50-55
M. F. Muharram Dan E. Walujodjati, "Pengaruh Penggunaan FLY ASH Sebagai Substitusi Semen Dan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton", Jurnal Konstruksi, Vol. 19, No. 2, Hlm. 410–417, Apr 2022
Mulyono, T. (2018). TEKNOLOGI BETON: Dari Teori Ke Praktek: Researchgate
Muharram, Mohamad Fadli, And Eko Walujodjati. "Pengaruh Penggunaan FLY ASH Sebagai Substitusi Semen Dan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton." Artikel. Jurnal Konstruksi 19, No. 2 (2022): 410–17. Https://Doi.Org/10.33364/Konstruksi/V.19-2.917
Nuruddin, Ilham. (2022). PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK KACA PADA CAMPURAN BETON MUTU TINGGI. Skripsi Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
Ren, J., Et Al. (2024). "Decarbonizing The Cement And Concrete Industry: A Comprehensive Review Of Current Strategies And Future Outlook." Journal Of Cleaner Production, 438, 140685
Roshiyana, S. N. (2025). Studi Korelasi Hubungan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Dengan Serbuk Kaca. Jurnal Smart Teknologi, 6, 100110
Sabbaghian, M. (2020). The Relationship Between Compressive Strength And Splitting Tensile Strength Of HPFRCC. Conference Paper August 2020, 50-63
Suhartini, Ayu. (2014). Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Subsitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton. Universitas Islam 45 Bekasi
Taha, B., & Nounu, G. (2009). Utilizing Waste Recycled Glass As Sand/Cement Replacement In Concrete. Journal Of Materials In Civil Engineering, 21(12), 709–721. Https://Doi.Org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:12(709)
Tjokrodimuljo, K. 2018. Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta