

Studi Korelasi Hubungan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Dengan Serbuk Kaca
Correlation Study of Compressive Strength and Splitting Tensile Strength of Concrete with Glass Powder

Szasza Nazafa Roshiyana¹⁾, Muhtar²⁾, Setiyo Ferdi Yanuar³⁾

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: szasza.nazafa@gmail.com

² Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: muhtar@unmuhjember.ac.id

² Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: setiyoferdi@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk kaca terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi serbuk kaca sebesar 0%, 8%, 10%, dan 12% dari berat semen. Benda uji berbentuk silinder berukuran 15 cm × 30 cm dan diuji pada umur 28 hari. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton pada tingkat signifikansi p-value < 0.05. Dalam penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat hingga 20,7% pada variasi serbuk kaca sebesar 10%. Sementara itu, hasil analisis optimum menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum sebesar 30,63 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,43 MPa dengan persentase serbuk kaca sebesar 6,69%. Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah dianalisis menggunakan regresi kuadrat dan analisis korelasi, yang menunjukkan hubungan yang sangat signifikan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 1. Penelitian ini mendukung pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambahan ramah lingkungan dalam campuran beton. Penelitian ini mendukung pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambahan yang ramah lingkungan dalam campuran beton. Selain meningkatkan performa mekanis beton, penggunaan serbuk kaca juga berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon dari produksi semen, karena sebagian kebutuhan semen dapat digantikan oleh limbah kaca.

Kata Kunci: Serbuk Kaca, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Regresi Kuadrat.

Abstract

This study aims to analyze the effect of adding glass powder on the compressive and splitting tensile strength of concrete. The research was conducted experimentally by replacing cement with glass powder in proportions of 0%, 8%, 10%, and 12% by weight. Cylindrical specimens measuring 15 cm × 30 cm were tested at 28 days. Variance analysis showed that glass powder significantly affected compressive strength, with a p-value < 0.05. The results indicated that compressive strength increased by up to 20.7% at the 10% glass powder variation. Meanwhile, the optimum compressive strength of 30.63 MPa and splitting tensile strength of 2.43 MPa occurred at a 6.69% glass powder content. The relationship between compressive and splitting tensile strength was analyzed using quadratic regression and correlation, showing a very strong relationship with a coefficient of determination (R^2) of 1. This research supports the use of waste glass as an environmentally friendly additive in concrete. In addition to improving mechanical performance, glass powder also helps reduce carbon emissions by partially replacing cement with glass waste.

Keywords: Glass Powder, Compressive Strength, Splitting Tensile Strength, and Quadratic Regression.

1. PENDAHULUAN

Beton adalah salah satu bahan konstruksi paling umum di seluruh dunia, berkat

kekuatannya yang luar biasa dan ketahanannya yang tinggi. Material ini terdiri dari beberapa komponen, seperti pasir, kerikil, semen, dan

air. Namun, sebagai bahan utamanya, pembuatan semen menghasilkan emisi karbon yang besar, yang merugikan lingkungan. Maka untuk mengurangi dampak ini, digunakan serbuk kaca sebagai limbah. Ini tidak hanya mengurangi emisi, tetapi juga mendukung konsep konstruksi berkelanjutan.

Penggunaan bahan tambah untuk meningkatkan kualitas beton sekaligus mengurangi dampak lingkungan menjadi sangat penting seiring dengan kesadaran akan pentingnya pembangunan berkelanjutan. Salah satu pilihan yang menjanjikan adalah serbuk kaca, yang diperoleh melalui proses daur ulang limbah kaca. Menurut Hendra & Endang [1], serbuk kaca ini dihasilkan dari limbah kaca, dapat ditambahkan ke campuran beton untuk mengurangi limbah dan meningkatkan sifat mekanis dan fisik beton. Jika ditambahkan ke agregat halus, serbuk kaca meningkatkan kekuatan beton, terutama dalam proporsi yang tepat. Namun, jika proporsi serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen tidak tepat, hal ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton akibat terganggunya proses hidrasi semen dan peningkatan porositas [2].

Serbuk kaca dibuat dari limbah kaca dalam beberapa langkah. Pertama dan terpenting, limbah kaca dikumpulkan dari sumber yang bersih dan tidak terkontaminasi. Selanjutnya, dilakukan proses pembersihan untuk menghapus kotoran dan label yang menempel. Limbah kaca yang telah dibersihkan kemudian dipotong menjadi bagian-bagian kecil menggunakan mesin penghancur. Potongan kaca ini kemudian digiling hingga menjadi serbuk dengan ukuran butir yang diinginkan, dalam penelitian ini membutuhkan serbuk kaca dengan partikel yang sangat halus. Butiran kaca yang lebih besar dipisahkan melalui proses penyaringan, sehingga hanya serbuk kaca dengan partikel halus yang dimasukkan ke dalam campuran beton. Sebelum digunakan, serbuk kaca yang telah disaring disimpan dalam wadah kedap udara untuk menjaga kualitasnya.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Johanes, dkk. [3], pemanfaatan serbuk kaca dapat meningkatkan kekuatan tekan beton. Serbuk kaca dengan ukuran partikel

yang halus terbukti lebih efektif sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Penambahan serbuk kaca dalam takaran yang sesuai dapat meningkatkan performa beton, bahkan melebihi kualitas beton konvensional. Penggunaan serbuk kaca juga berkontribusi pada peningkatan nilai slump dalam beton, menurut Ridhawan & Gati [4], jumlah serbuk kaca yang digunakan berhubungan langsung dengan nilai slump yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh sifat serbuk kaca yang halus dan licin, sehingga tidak menyerap air. Akibatnya, air yang tidak diserap oleh serbuk kaca dapat meningkatkan workability atau kemudahan dalam mengolah campuran beton.

Fokus penelitian ini terdiri dari dua masalah utama. Pertama, penting untuk menentukan persentase serbuk kaca yang optimal untuk digunakan dalam campuran beton sebagai pengganti sebagian semen, agar kuat tekan dan kuat tarik belah yang diinginkan tetap terjaga. Kedua, perlu dilakukan analisis mengenai hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan dari beton dengan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Uraian Umum

Beton merupakan material yang sering digunakan dalam pembangunan infrastruktur, seperti jembatan, gedung, dan jalan raya. Terdiri dari campuran semen, agregat halus dan kasar, air, dan admixture, bahan ini termasuk dalam kategori komposit. Beton memiliki keunggulan dibandingkan bahan konstruksi lainnya, karena kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, pembusukan, dan api [5]. Selain itu, beton juga mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan struktural [6]. Oleh karena itu, beton banyak dimanfaatkan dalam proyek-proyek infrastruktur.

B. Serbuk Kaca

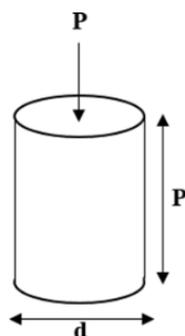
Serbuk kaca adalah bahan daur ulang yang diperoleh dari penghancuran limbah kaca seperti botol dan wadah bekas, Material ini dapat dimanfaatkan untuk menggantikan sebagian komposisi dalam campuran beton. Menurut Slamet, dkk. [7], serbuk kaca

berfungsi sebagai filler yang mampu meningkatkan kepadatan adukan beton dan memperkuat ikatan antara partikel semen dan agregat. Ukurannya yang sangat halus memungkinkan serbuk kaca mengisi pori-pori dalam beton, sehingga meningkatkan kekuatan dan daya tahannya. Selain meningkatkan sifat mekanik, penggunaannya juga memberikan manfaat lingkungan.

Ayu et al. [8] menyatakan bahwa penggunaan limbah kaca adalah langkah penting dalam pengelolaan limbah dan pengurangan pencemaran. Penggunaan serbuk kaca juga mengurangi emisi karbon dari produksi semen karena limbah kaca dapat memenuhi sebagian dari kebutuhan semen. sejalan dengan kampanye global untuk konstruksi yang berkelanjutan dan efisien yang memanfaatkan sumber daya.

C. Kuat Tekan

Kemampuan beton untuk menahan beban tekan tanpa retak atau rusak dikenal sebagai kekuatan tekan [9]. Nilai ini diperoleh melalui uji tekan pada sampel beton. Ini berfungsi sebagai parameter penting untuk menentukan mutu beton dan daya dukung struktur. Mutu beton K-300, yang termasuk dalam kategori kelas II dan biasanya digunakan untuk keperluan struktural, memiliki kuat tekan 25 MPa, adalah subjek penelitian ini.



Gambar 1. Benda Uji Tekan Silinder
 Sumber: Penulis.

Perhitungan kuat tekan dilakukan menggunakan rumus yang tercantum pada **Persamaan 1**

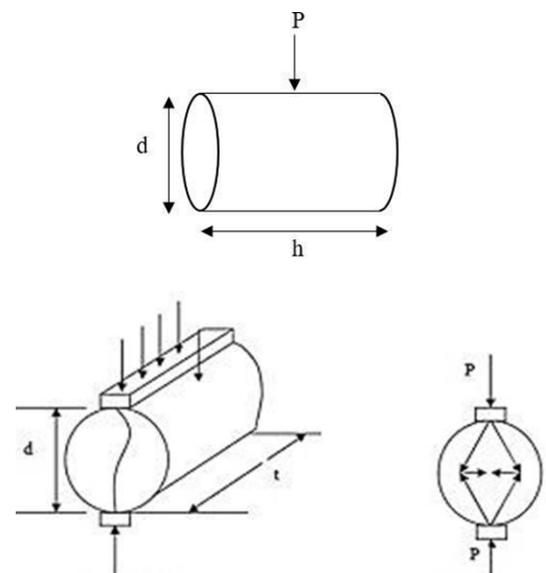
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana:

- f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)
- P = beban tekan maksimum (N)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

D. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah beton berarti bahwa beton dapat menahan beban tarik yang dapat menyebabkan retak tanpa mengakibatkan kerusakan yang signifikan. Untuk menentukan kuat tarik belah, dilakukan uji tarik belah pada silinder beton. Parameter ini sangat penting dalam menilai ketahanan beton terhadap beban yang tidak terduga dan stabilitas struktur.



Gambar 2. Benda Uji Tarik Belah Silinder
 Sumber: SNI 03-2491-2002.

Kuat tarik belah dapat dihitung dengan rumus dalam **Persamaan 2**

$$f'_c = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

dimana:

- f'_c = kuat tarik belah beton (N/mm²),
- P = beton pada waktu belah (N)
- L = panjang benda uji silinder (mm)
- D = diameter benda uji silinder (mm)

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan metode eksperimental laboratorium. Dimulai dengan perizinan dan pengujian material, termasuk kadar lumpur, saringan, kadar air, dan berat jenis, sebelum membuat desain campuran. Variasi serbuk kaca yang digunakan untuk benda uji adalah, 0%, 8%, 10%, dan 12%

serbuk kaca. Setelah uji slump, beton dicetak, didiamkan 24 jam, direndam 28 hari, dan kemudian diuji tekan dan kuat tarik belah.

A. Lokasi Penelitian



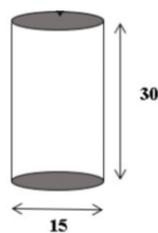
Gambar 3. Lokasi Penelitian.

Sumber: Google Earth.

Kegiatan penelitian meliputi persiapan material, pembuatan benda uji, dan pengujian kekuatan tekan dan tarik belah. Penelitian ini sepenuhnya dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Jember terletak di Gumuk Kerang, Karangrejo, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68124.

E. Benda Uji

Penelitian ini mrmakai cetakan silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Beton yang akan diuji ada 24 sampel, 12 untuk kuat tekan dan 12 untuk kuat tarik belah. Spesifikasi lengkapnya tercantum pada **Tabel 1**



Gambar 4. Benda Uji Silinder 15 cm x 30 cm.

Sumber: Penulis.

Tabel 1. Perincian Benda Uji

Presentase Serbuk Kaca	Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah
0%	3	3
8%	3	3
19%	3	3
12%	3	3

Jumlah	12	12
Total	24	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

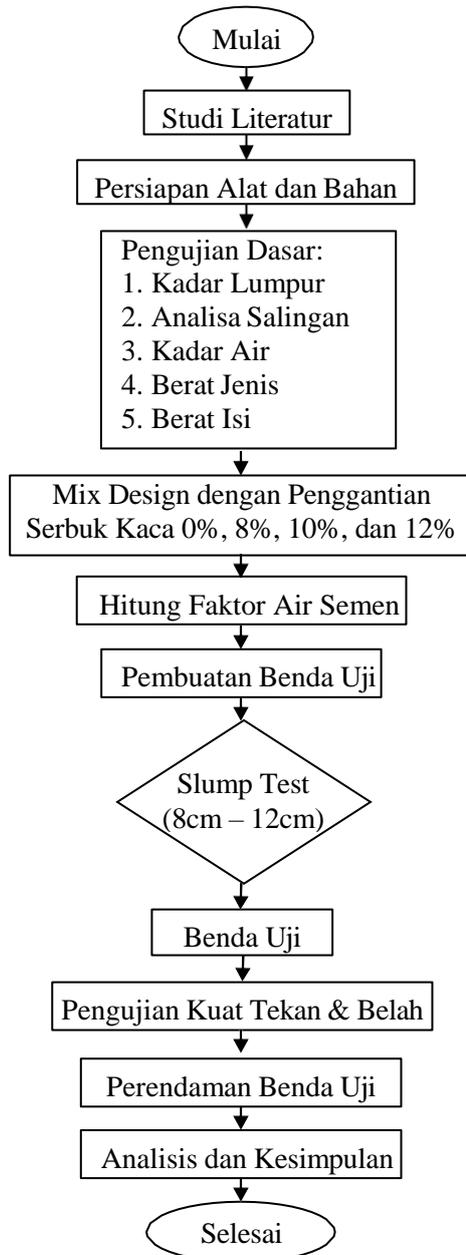
B. Tahapan Penelitian

Proses penelitian dimulai dengan menyiapkan bahan-bahan yang diperlukan yaitu semen, agregat kasar dan agregat halus, air, dan serbuk kaca. Pengurangan berat semen sebesar 8%, 10%, dan 12% harus dilakukan sesuai dengan standar SNI 2847:2013 [10]. Selanjutnya, bahan diuji untuk memenuhi persyaratan teknis. Kegiatan ini mencakup pengujian berat jenis, berat isi, kadar air, kadar lumpur, dan gradasi agregat. Setelah bahan dinyatakan layak, dibuat benda uji beton dengan pencampuran yang merata untuk menghasilkan hasil yang representatif, seperti yang dikatakan oleh Abdullah et al. [11]. Setelah campuran dimasukkan ke dalam cetakan silinder, slump-nya diuji. Sebelum dilakukan perawatan, campuran dibiarkan selama 24 jam. Berdasarkan SNI 2837:2013 [10], benda uji dirawat selama 28 hari dalam kondisi lembap dan suhu yang dikontrol. Ini dilakukan untuk memastikan proses hidrasi yang optimal. Setelah proses perawatan, beton diuji tekan dan tarik belah.

Menurut SNI 1974:2011 [12], pengujian kekuatan tekan beton dilakukan dengan menempatkan silinder uji secara vertikal pada mesin uji tekan. Hal ini bertujuan untuk mengukur kemampuan beton dalam menahan tekanan langsung, beban diberikan secara merata pada bagian atas dan bawah. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan SNI 2491:2014 [13], dengan benda uji diletakkan secara horizontal dan diberi beban pada dua sisi untuk mensimulasikan gaya tarik yang dapat menyebabkan fraktur. Selanjutnya, hasil pengujian diperiksa secara menyeluruh dengan menggunakan perhitungan rata-rata, regresi, dan uji hipotesis. Ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana serbuk kaca mempengaruhi sifat mekanik beton, terutama kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah.

C. Bagan Alur Penelitian

Berikut adalah diagram alir atau tahapan dari penelitian yang dilaksanakan:



Gambar 5. Bagan alir penelitian yang dilaksanakan.

Sumber: Hasil Penelitian, 2025.

4. HASIL & PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian dan Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat halus mengacu pada SNI 03-2834-2000 [14] kadar lumpur dan berat jenis merupakan bagian dari

pengujian campuran beton, dan hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 2**

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar Lumpur Berat Volume	0.051 gr / cm ²
2	- Kondisi Lepas - Kondisi padat	0.002 gr / cm ² 0.001 gr / cm ²
3	Absorpsi	0.066 %
4	Berat Jenis	2.422 gr

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Pengujian karakteristik agregat kasar dilaksanakan berdasarkan SNI 03-2834-2000 [14] guna menjamin kualitas campuran beton, seperti yang ada pada **Tabel 3**

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar Lumpur Berat Volume	0.008 %
2	- Kondisi Lepas - Kondisi padat	0.001 gr / cm ² 0.002 gr / cm ²
3	Absorpsi	0.008 %
4	Berat Jenis	2.694 gr

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

B. Rancangan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton mengacu pada SNI untuk beton normal dengan mutu K-300. Penelitian ini menggunakan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen. Benda uji silinder yang digunakan berukuran 15 cm x 30 cm. Dari hasil perhitungan, diperoleh kebutuhan bahan untuk enam sampel dalam satu kali pencampuran. Tujuan perencanaan ini adalah untuk memastikan bahwa mutu dan volume campuran tetap konsisten selama proses pengujian. Sebagaimana ditunjukkan dalam **Tabel 4**

Tabel 4. Rancangan Campuran Beton

	Presentase Serbuk Kaca			
	0%	8%	10%	12%
Semen (kg)	2.27	2.07	2.04	2
Pasir (kg)	4.43	4.43	4.43	4.43

Kerikil (kg)	5.42	5.42	5.42	5.42
Air (kg)	1.16	1.16	1.16	1.16
Serbuk Kaca (kg)	0	0.2	0.23	0.27

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

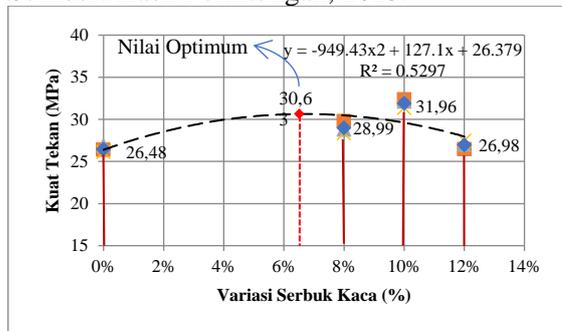
C. Kuat Tekan Beton

Digunakan dua belas sampel dengan variasi serbuk kaca 0%, 8%, 10%, dan 12%

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Serbuk Kaca	Kode Benda Uji	Umur	Diameter	Tinggi	Berat	Volume	Berat Isi	Kuat Tekan	Rata-rata Kuat Tekan
		hari	cm	cm					
0%	1	28	15	30	12.34	0.0053	2330	26.39	26.48
	2	28	15	30	12.21	0.0053	2304	26.89	
	3	28	15	30	12.41	0.0053	2341	26.15	
8%	1	28	15	30	12.23	0.0053	2308	29.8	28.99
	2	28	15	30	12.41	0.0053	2342	28.8	
	3	28	15	30	12.26	0.0053	2314	28.39	
10%	1	28	15	30	12.25	0.0053	2312	31.54	31.96
	2	28	15	30	12.49	0.0053	2356	31.96	
	3	28	15	30	12.39	0.0053	2339	32.37	
12%	1	28	15	30	12.33	0.0053	2327	26.56	26.98
	2	28	15	30	12.33	0.0053	2327	26.98	
	3	28	15	30	12.52	0.0053	2363	27.39	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.



Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Beton.

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi serbuk kaca menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca dapat meningkatkan kuat tekan. Rata-rata nilai untuk variasi 0% adalah 26,48 MPa, untuk variasi 8% mencapai 28,99 MPa, variasi 10% sebesar 31,96 MPa, dan variasi 12% adalah 26,98 MPa. Namun, penurunan kuat tekan pada variasi 12%

untuk menguji kekuatan tekan beton. Ketika benda uji yang dikenakan tekanan oleh mesin uji kuat tekan mengalami keretakan sebagai hasil dari beban maksimum (Pmaks), kuat tekan maksimum dicapai. **Tabel 5** menunjukkan hasil tes ini.

menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca telah melewati batas optimalnya.

Nilai R² sebesar 0.5297 menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton, dengan tingkat kepercayaan 53%. Peningkatan ini dikarenakan penambahan serbuk kaca disebabkan oleh kemampuannya mengisi pori-pori mikro yang terdapat dalam pasta semen, sehingga struktur beton menjadi lebih padat dan kuat. Namun, di atas 10%, penurunan kuat tekan terjadi karena sifat kaca yang kurang baik dalam menyerap air, yang dapat mempengaruhi daya serap beton, dan jumlah serbuk kaca juga dapat mengganggu rasio bahan pengikat dan mengurangi hidrasi semen.

D. Analisis Nilai Optimum Kuat Tekan Beton

Analisis ini menggunakan metode Regresi Kuadrat untuk mengidentifikasi hubungan

antara persentase serbuk kaca dan kuat tekan beton, karena metode ini mampu menjelaskan pola hubungan non-linear antara kedua variabel. Data dimodelkan dalam bentuk persamaan $y = ax^2 + bx + c$ dan koefisien a, b, dan c diperoleh melalui metode kuadrat terkecil. Setelah membentuk sistem tiga persamaan, dilakukan penyelesaian untuk menentukan titik optimum yang menunjukkan nilai kuat tekan maksimum. Grafik regresi ditampilkan pada **Gambar 6**

- Persamaan Pertama
 $n \cdot c + \sum x \cdot b + \sum x^2 \cdot a = \sum y$
 $4 \cdot c + 30 \cdot b + 308 \cdot a = 114.40$
- Persamaan Kedua
 $\sum x \cdot c + \sum x^2 \cdot b + \sum x^3 \cdot a = \sum xy$
 $30 \cdot c + 308 \cdot b + 3240 \cdot a = 875.207$
- Persamaan Ketiga
 $\sum x^2 \cdot c + \sum x^3 \cdot b + \sum x^4 \cdot a = \sum x^2 y$
 $308 \cdot c + 3240 \cdot b + 34832 \cdot a = 8935.559$
- Turunan Pertama
 $y' = -0.18989 + 1.27099x$
- Untuk $y' = 0$:

$$-0.18989 + 1.27099x = 0$$

$$x = 0.18989 / 1.27099$$

$$x \approx 1.27099$$

- Nilai Optimum
 $x = 1.27099$
- Persentase elongasi $\approx 6.69\%$
 $y = -4.25362 + 8.50724 + 26.37863$
 $= 30.63 \text{ MPa}$

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa nilai optimum kuat tekan beton dicapai pada komposisi serbuk kaca sebesar 6,69%. Pada titik ini, kuat tekan beton mencapai nilai 30.63 MPa.

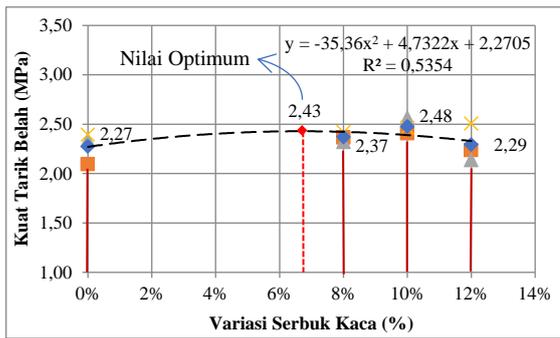
E. Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian ketahanan geser beton dilakukan menggunakan dua belas sampel dengan variasi serbuk kaca sebesar 0%, 8%, 10%, dan 12%, dngan tiga sampel untuk setiap variasi. Pengujian dilakukan secara horizontal dan menilai retak akibat beban maksimum (P_{maks}). **Tabel 6** menunjukkan hasil tes.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Serbuk Kaca	Kode Benda Uji	Umur	Diameter	Tinggi	Berat	Volume	Berat Isi	Kuat Traik Belah	Rata-rata
									Kuat Traik Belah
		hari	cm	cm	kg	m ³	kg/m ³	MPa	MPa
0%	1	28	15	30	12.54	0.0053	2367	2.09	2.27
	2	28	15	30	12.49	0.0053	2358	2.34	
	3	28	15	30	12.5	0.0053	2358	2.39	
8%	1	28	15	30	12.39	0.0053	2339	2.36	2.37
	2	28	15	30	12.2	0.0053	2303	2.32	
	3	28	15	30	12.16	0.0053	2295	2.42	
10%	1	28	15	30	12.29	0.0053	2319	2.41	2.48
	2	28	15	30	12.59	0.0053	2376	2.56	
	3	28	15	30	12.35	0.0053	2330	2.46	
12%	1	28	15	30	12.47	0.0053	2353	2.24	2.29
	2	28	15	30	12.21	0.0053	2304	2.14	
	3	28	15	30	12.44	0.0053	2347	2.51	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.



Gambar 7. Grafik Kuat Tarik Belah Beton.

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Tabel 6 dan **Gambar 7** memperlihatkan hasil uji kuat tarik belah. Untuk variasi 0%, nilai yang diperoleh adalah 2,27 MPa, variasi 8% mencapai 2,37 MPa, variasi 10% sebesar 2,48 MPa, dan variasi 12% adalah 2,29 MPa. nilai R^2 adalah 0,5354 sehingga tingkat kepercayaan 54%. Ini sejalan dengan hasil kuat tekan yang menunjukkan tingkat kepercayaan di atas 50%, yang menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca memiliki peran yang signifikan.

F. Analisis Nilai Optimum Kuat Tarik Belah Beton

Analisis ini menggunakan metode Regresi Kuadrat untuk menggambarkan hubungan non-linear antara persentase serbuk kaca dan kuat tarik belah beton. Data dimodelkan menggunakan persamaan kuadrat $y = ax^2 + bx + c$, dan koefisien didapat dengan metode kuadrat terkecil. **Gambar 7** menunjukkan titik optimum untuk menunjukkan kekuatan tarik belah maksimum.

- Persamaan Pertama
 $n \cdot c + \sum x \cdot b + \sum x^2 \cdot a = \sum y$
 $4 \cdot c + 30 \cdot b + 308 \cdot a = 9.41$
- Persamaan Kedua
 $\sum x \cdot c + \sum x^2 \cdot b + \sum x^3 \cdot a = \sum xy$
 $30 \cdot c + 308 \cdot b + 3240 \cdot a = 71.2338$
- Persamaan Ketiga
 $\sum x^2 \cdot c + \sum x^3 \cdot b + \sum x^4 \cdot a = \sum x^2y$
 $308 \cdot c + 3240 \cdot b + 34832 \cdot a = 729.474$
- Turunan Pertama
 $y' = -0.00707 + 0.047322x$
- Untuk $y' = 0$:
 $-0.00707 + 0.04732x = 0$
 $x = 0.00707 / 0.04732$
 $x \approx 0.04732$

- Nilai Optimum
 $x = 0.04732$
- Persentase elongasi $\approx 6.69\%$
 $y = -0.15833 + 0.31666x + 2.2705$
 $= 2.43 \text{ MPa}$

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa penambahan serbuk kaca sebesar 6,69% menghasilkan kuat tarik belah beton optimum. Pada titik ini, kuat tarik belah beton mencapai nilai 2.43 MPa.

G. Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton

Menurut A.M. Neville [15], hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah beton dinyatakan dalam **Persamaan 3**

$$f'_{ct} = k\sqrt{f'_c} \quad (3)$$

dimana:

F'_{ct} = kuat tarik belah beton (N/mm²)

K = koefisien perbandingan

F'_c = kuat tekan beton (N/mm²)

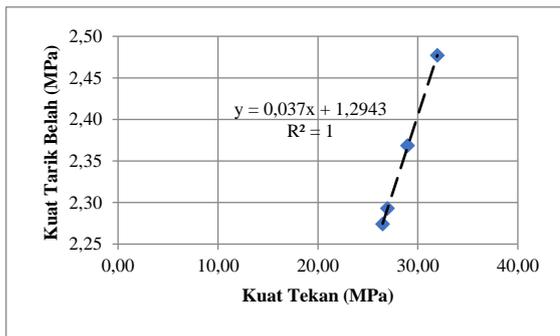
Menurut Fanto et al. [16], kekuatan tarik beton berada dalam rentang 8% - 15% dari kekuatan tekan. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kekuatan tekan berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan tarik belah, seperti yang tertera pada **Tabel 7**

Tabel 7. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Serbuk Kaca	Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Nilai Korelasi	Rasio
	MPa	MPa		
0%	26.48	2.27	0.44	9%
8%	28.99	2.37	0.44	8%
10%	31.96	2.48	0.44	8%
12%	26.98	2.29	0.44	9%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

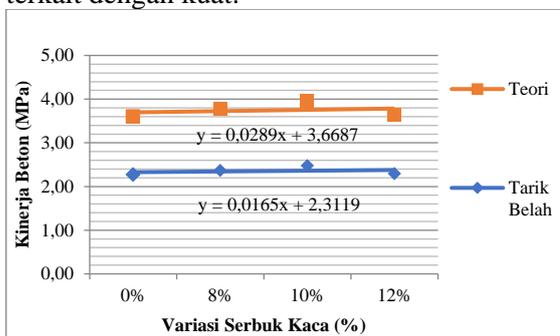
Berdasarkan persamaan $f'_{ct} = k/\sqrt{f'_c}$ menunjukkan hubungan dengan hasil $f'_{ct} = 0,44/\sqrt{f'_c}$, menunjukkan bahwa koefisien hubungan antara kuat tekan dan tarik belah beton tetap, meskipun ditambahkan serbuk kaca. Seperti yang ditunjukkan oleh Fanto et al. [16]. Nilai perbandingan antara kuat tarik belah dan kuat tekan berkisar antara 8%–9%, tetap berada dalam rentang ideal yaitu 8%–15%.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah.

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Gambar 8 memperlihatkan hubungan linear antara kuat tekan dan kuat tarik belah beton, dengan persamaan regresi $0,037x + 1,2943$, dan nilai R^2 sebesar 1. Nilai ini menunjukkan bahwa model sangat baik dalam memprediksi variabel dependen, menurut Imam Ghozali 2018:98 [17]. Hubungan yang sangat kuat ditunjukkan oleh nilai $R^2 = 1$, perubahan pada kuat tekan beton akan secara langsung memengaruhi kuat tarik belah, yang menandakan bahwa kedua variabel ini saling terkait dengan kuat.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan teori dan hasil pengujian, hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah beton ditunjukkan pada **Gambar 9**. Secara empiris, kuat tarik belah masih dapat diterima, karena berada di antara 8% – 15% dari kuat tekan, meskipun lebih rendah dari perkiraan teoretis.

H. Analisis Variansi Satu Arah (Anova)

ANOVA atau analisis variansi satu arah digunakan untuk membuktikan bagaimana variasi penambahan serbuk kaca berpengaruh

terhadap kuat tekan beton. Anova Single Factor merupakan metode analisis yang akan membantu untuk memudahkan pengolahan data dan perhitungan statistik menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2010. Pada analisis ini, dilakukan untuk membuktikan apakah rata-rata kuat tekan beton terdapat perbedaan yang signifikan akibat pengaruh variasi persentase serbuk kaca. Hasil analisis disajikan pada **Tabel 8**

Tabel 8. Perhitungan Kuat Tekan *Anova Single Factor* dengan MS. Excel 2010.

SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
318	2	639	319.5	40.5
390	2	765	382.5	40.5

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3969	1	3969	98	0.010051	18.51282
Within Groups	81	2	40.5			
Total	4050	3				

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan analisis *Anova Single Factor*. Hipotesis nol (H_0) menyatakan serbuk kaca tidak berpengaruh terhadap kuat tekan beton, sedangkan hipotesis alternatif (H_a) menyatakan sebaliknya. Kriteria pengujian menyatakan bahwa hipotesis nol (H_0) diterima jika F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} , dan ditolak jika F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} .

Tabel 9. Perhitungan Kuat Tekan *Anova Single Factor* dengan MS. Excel 2010.

F_{hitung}	> / <	F_{tabel}	H_0	H_a
98.000	>	18.513	Ditolak	Diterima

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Hasil uji hipotesis pada **Tabel 9** menunjukkan bahwa nilai F_{hitung} pada variabel kuat tekan dan tarik belah beton melebihi F_{tabel} . Keadaan ini menunjukkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_a) diterima, menurut pendapat Imam Ghozali [17]. Dengan kata lain, dapat disimpulkan bahwa sifat mekanis beton yang diuji sangat dipengaruhi oleh penambahan serbuk kaca.

Selain itu, hasil analisis hipotesis juga diperkuat dengan data probabilitas (p-value) yang ditampilkan pada **Tabel 8**. P-value sebesar 0,010 diperoleh dari hasil tersebut dan nilainya berada di bawah tingkat signifikansi 0,05. Berdasarkan pendapat Imam Ghozali [17], karena p-value < 0,05, hipotesis nol (H_0) dinyatakan tidak valid, sehingga hipotesis alternatif (H_a) diterima. Maka, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk kaca memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan beton.

5. PENUTUP

I. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil regresi dengan model persamaan kuadrat $y = ax^2 + bx + c$ menunjukkan bahwa dengan penggunaan serbuk kaca 6,7%, beton memiliki nilai kuat tekan dan kuat tarik belah yang optimal, yaitu masing-masing 30,63 MPa dan 2,43 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk kaca dalam campuran beton meningkatkan kekuatan mekanis secara signifikan, baik pada tekanan maupun tarik belah.
2. Beton yang menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi semen menunjukkan hubungan yang kuat antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah. Hubungan yang sangat erat antara kedua parameter ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 1. Dari analisis yang telah dilakukan, perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan berada dalam rentang 8% - 9%. Temuan ini sesuai dengan studi sebelumnya yang menyebutkan bahwa nilai optimal kuat tarik belah berada pada kisaran 8%–15% dari kuat tekan

2. Saran

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengeksplorasi variasi proporsi serbuk kaca yang berbeda dalam campuran beton, termasuk jenis serbuk kaca lainnya.
2. Penelitian sebaiknya dilakukan dengan membuat sampel dalam bentuk balok dan menguji dengan parameter yang lebih beragam, seperti kuat tarik lentur.

3. Kajian lebih lanjut perlu dilakukan terkait efek penambahan admixture lain dalam beton berbasis serbuk kaca.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Purnomo and E. S. Hisyam, "Semen Pada Campuran Beton Ditinjau Dari Kekuatan," *J. Fropil Vol 2 Nomor 1 Januari-Juni 2014*, vol. 2, pp. 45–55, 2014.
- [2] D. A. Muhedin and R. K. Ibrahim, "Effect of waste glass powder as partial replacement of cement & sand in concrete," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 19, no. September, p. e02512, 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02512.
- [3] J. J. S. A. E. A. Gabriella Agnes Luvena Suwignyo, "Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus Dengan Serbuk Kaca Dan Silica Fume Terhadap Sifat Mekanik Beton," *J. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 2, pp. 94–103, 2015, doi: 10.24002/jts.v13i2.971.
- [4] S. ira PutriDewanti, "Disusun Oleh : Disusun Oleh :," *Pelaks. Pekerj. Galian Divers. Tunn. Dengan Metod. Blasting Pada Proy. Pembang. Bendungan Leuwikeris Paket 3, Kabupaten Ciamis Dan Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat*, vol. 1, no. 11150331000034, pp. 1–147, 2019.
- [5] S. Pada, C. Beton, R. M. Iqbal, and G. A. Hayu, "Pemanfaatan Abu Sekam Padi 10 % Dan Limbah Kaca Sebagai Bahan," pp. 6–15.
- [6] N. Koidah and A. Setiawan, "Analisis Penggunaan Pasir Pantai Paciran Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *DEARSIP J. Archit. Civ.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–17, 2022, doi: 10.52166/dearsip.v2i1.3352.
- [7] P. Air and D. A. N. P. Air, "PENGARUH SERBUK KACA TERHADAP KUAT TEKAN ," no.

- September, pp. 750–758, 2016.
- [8] A. dan W. Ulumuddin Agus, “Vol. 2 No. 1 Januari 2014,” *J. Sasindo*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, 2014.
- [9] N. G. Wariyatno and Y. Haryanto, “Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Sebagai Nilai Estimasi Kekuatan Sisa Pada Beton Serat Kasa Alumunium Akibat Variasi Suhu,” *Din. Rekayasa*, vol. 9, no. 1, pp. 22–28, 2013, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/60610/kuat-tekan-dan-kuat-tarik-belah-sebagai-nilai-estimasi-kekuatan-sisa-pada-beton>
- [10] S. 03-2847, “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013,” *Badan Standarisasi Nas.*, p. 265, 2013.
- [11] A. Faqihuddin, “TINJAUAN CAMPURAN BETON NORMAL DENGAN PENGGUNAAN padat . Umumnya beton sudah banyak digunakan di berbagai jenis konstruksi , khususnya pada dibangun konstruksi , maka berkembanglah berbagai jenis beton menurut karakteristik dan,” vol. 2, no. 1, pp. 34–45, 2021.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, “Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder,” *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*, 1974, [Online]. Available: <https://www.academia.edu/download/57886647/SNI-1974-2011-.pdf>
- [13] SNI 2491:2014, “Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C496/C496M-04, IDT),” *Badan Stand. Nas. Indones.*, pp. 1–17, 2014.
- [14] B. S. Nasional, “Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal,” *Sni*, vol. 3, p. 2834, 2000.
- [15] K. W. Day, *Properties of concrete*. 2021. doi: 10.4324/9780203967874-11.
- [16] F. P. Pane, H. Tanudjaja, and R. S. Windah, “Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton,” *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 5, pp. 313–321, 2015.
- [17] Imam Ghozali, “Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 25.” Badan Penerbit Univesitas Diponegoro, p. 490, 2018.