



Tersedia Secara Online di
<http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>

JURMATEKS

<http://dx.doi.org/10.30737/jurmateks>

Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton

R. R. Dhana¹, S. Arif²

^{1,2}Fakultas teknik Universitas Islam Lamongan.

Email : ¹ riorahma@unisla.ac.id

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 17 – 06 – 2021
Artikel revisi : 22 – 06 – 2021
Artikel diterima : 23 – 06 – 2021

Keywords :

Compressive Strength, Concrete,
Fine Aggregate, Glass Powder.

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

[12]

M. G. Musbah, A. Musbah, A. Allam, and H. A. Saleh, "Effects of Superplasticizing Admixtures on the Compressive Strength of Concrete," *Univers. J. Eng. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 39–45, 2019, doi: 10.13189/ujes.2019.070203.

ABSTRACT

A large amount of waste is generated from various industrial activities. Limah glass is one of the wastes that allows it to be used as an alternative solution to environmental problems. This study aims to determine the effect of the use of glass waste on the compressive strength of concrete. The experimental method was applied by mixing glass waste which was made into powder with a percentage of 0%, 5%, 15%, and 25% as a fine aggregate substitute. The quality of the concrete is planned to be Fc'16.6 with 12 samples of cylindrical 15x30 cm. The compressive strength test was carried out at the age of 7 and 28 days of concrete. The results showed that there was a decrease in each variation of the mixture. In testing the compressive strength of concrete aged 7 days, the highest compressive strength was obtained in concrete with the addition of glass powder with a percentage of 5% with a compressive strength value of 23.97 Mpa. While at the age of 28 days, the highest compressive strength was obtained in concrete with the addition of glass powder with a percentage of 5% with a compressive strength value of 34.24 Mpa.

ABSTRAK

Sejumlah besar limbah dihasilkan dari berbagai kegiatan industri. Limah kaca menjadi salah satu limbah yang memungkinkan dimanfaatkan sekaligus sebagai alternatif solusi permasalahan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah kaca terhadap kuat tekan beton. Metode eksperimen diterapkan dengan mencampurkan limbah kaca yang dijadikan serbuk dengan prosentase 0%, 5%, 15%, dan 25% sebagai substitusi agregat halus. Mutu beton direncanakan Fc'16,6 dengan sampel berbentuk silinder 15x30 cm sebanyak 12 sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 7 dan 28 hari. Hasil penelitian didapatkan terjadi penurunan pada setiap variasi campuran. Pada pengujian kuat tekan umur beton 7 hari kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan penambahan serbuk kaca dengan prosentase 5% dengan nilai kuat tekan sebesar 23,97 Mpa. Sedangkan pada umur beton 28 hari kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan penambahan serbuk kaca dengan prosentase 5% dengan nilai kuat tekan sebesar 34,24 Mpa.

1. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang substansial dan paling dominan digunakan. Beton banyak diminati karena beberapa keunggulannya yang menonjol seperti biaya relatif murah serta bahan penyusun yang mudah didapatkan. Beton banyak diaplikasikan pada hampir seluruh bangunan konstruksi seperti jembatan, jalan, bangunan air, gedung bertingkat [1].

Bahan penyusun beton sendiri terdiri dari campuran agregat, air dan bahan perekat dengan proporsi tertentu [2]. Sifat material penyusun cukup berperan dalam menentukan kualitas beton. Bahan penyusun beton bersumber dari material alam yang apabila digunakan secara terus menerus akan habis[3]. Meninjau pada kondisi tersebut, perlu adanya pengkajian lebih lanjut mengenai penggunaan bahan penyusun beton. Penggunaan material lain akan secara efektif mampu meningkatkan kinerja dan mutu beton jika dilakukan pengujian dengan tepat sehingga dinilai mampu memenuhi syarat[4].

Penerapan bahan limbah sebagai komponen pelengkap atau substitusi beton menjadi hal yang terus dikembangkan akhir-akhir ini. Limbah meningkat seiring dengan berkembangnya kehidupan manusia. Limbah kaca merupakan salah satu limbah yang cukup banyak dihasilkan. Beberapa sumber limbah kaca seperti, botol bekas minuman hingga sisa pembongkaran bangunan. Limbah kaca merupakan salah satu limbah anorganik yang cukup sulit diuraikan, sehingga perlu adanya pemanfaatan yang tepat agar limbah kaca memiliki daya guna yang tinggi[5]. Kaca sendiri merupakan bahan padat *amorf* yang dibuat oleh silika kering dengan oksida dasar.

Beberapa penelitian telah mengkaji mengenai pemanfaatan limbah kaca tersebut menjadi suatu yang lebih berguna, seperti digunakan dalam campuran beton [6][7]. Penggunaan limbah kaca sebagai bahan substitusi beton mampu mempengaruhi kualitas beton meskipun tidak signifikan [8][9]. Namun, belum banyak penelitian yang mengkaji mengenai penggunaan limbah kaca yang diolah menjadi serbuk kaca sehingga dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton sebagai perbaikan kualitas beton. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk kaca yang berasal dari limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan beton. Sehingga, akan diketahui apakah penggunaan serbuk kaca mampu mempengaruhi kualitas beton.

2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimental dengan melakukan pengujian di Laboratorium sesuai dengan standart yang berlaku [10]. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan. Sampel yang digunakan berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm dengan material penyusun beton yang digunakan meliputi

semen portland, air, agregat halus, agregat kasar, bahan tambah dan serbuk kaca. Mutu beton rencana yaitu F_c 16,60 Mpa (K200) dengan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas beton yaitu pengujian kuat tekan beton pada umur beton 7 dan 28 hari [11].

2.1 Material Penyusun

Beton terdiri dari campuran semen, agregat, air dengan atau tanpa bahan tambah [12]. Material yang digunakan sebagai bahan penyusun beton harus telah melalui pengujian sehingga dapat dinilai memenuhi syarat yang telah ditentukan.

- 1) Semen adalah bahan dalam beton yang berfungsi sebagai pengikat beton [13], semen mampu bereaksi dengan adanya air. Dengan sifat tersebut, semen dalam campuran beton berfungsi sebagai pengikat untuk bahan agregat. Semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen portland tipe 1 [14].
- 2) Agregat dalam campuran beton berfungsi sebagai bahan pengisi. Sekitar agregat menempati 70% dari volume beton [15][16]. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berupa agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus yang digunakan berupa pasir sedangkan agregat kasar yang digunakan berupak koral . Kedua agregat tersebut dilakukan pencucian sehingga semua agregat bebas dari zat organik [17].
- 3) Air memiliki peran penting dalam membuat beton [18][19] Air digunakan sebagai pereaksi semen dan membentuk pasta yang berfungsi sebagai pengikat agregat. proporsi air dalam beton penting untuk dipertimbangkan untuk memberikan kemampuan kerja yang memadai selama proses pencampuran atau pengecoran.

4) Limbah Kaca

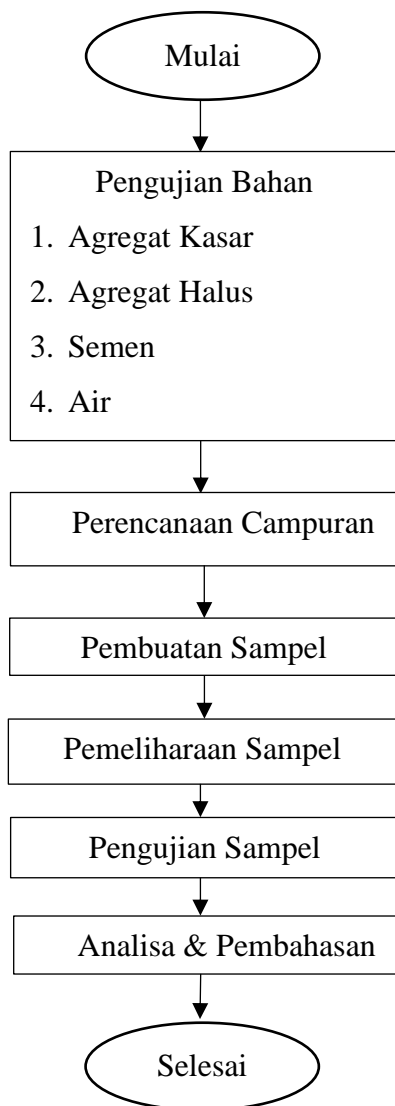
Limbah kaca biasanya dipisahkan berdasarkan penggunaan akhirnya dan berdasarkan penggunaan akhirnya kaca dipisahkan berdasarkan warna kaca [20]. Banyak hal yang berpotensi menguntungkan dari penggunaan kaca sebagai agregat beton, antara lain:

- a. Memiliki tingkat durabilitas yang tinggi, mengingat kaca adalah material yang tidak menyerap air.
- b. Kaca memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi dan karakteristik ini adalah karakteristik yang langka terdapat dalam agregat alami lainnya [21].

2.2 Deskripsi dan Teknis Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan (Gambar 1). Penelitian dimulai dengan melakukan persiapan serta pengujian bahan, pembuatan sampel, perawatan sampel, pengujian sampel dengan mengacu pada standar nasional (SNI) dan standar internasional (ASTM) [22] [23]. Data-data yang di uji meliputi:

1. Penyediaan bahan tambah serbuk kaca.
2. Pengujian semen meliputi:
 - a. Pengujian konsistensi normal semen *portland*
 - b. Pengujian waktu mengikat dan mengeras semen
 - c. Pengujian berat jenis semen[24]
3. Pengujian pasir (Agregat Halus) meliputi:
 - a. Pengujian analisa saringan distribusi ukuran butir / gradasi pasir
 - b. Pengujian kadar air agregat halus
 - c. Pengujian berat jenis pasir pada kondisi SSD
 - d. Pengujian kadar air resapan pasir
 - e. Pengujian berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun terikat.
4. Pengujian berat volume serbuk kaca baik dalam keadaan lepas maupun terikat.
5. Pengujian batu pecah (Agregat Kasar) meliputi:
 - a. Pengujian analisa saringan distribusi ukuran butir / gradasi batu pecah
 - b. Pengujian kelembapan batu pecah
 - c. Pengujian berat jenis batu pecah pada kondisi SSD
 - d. Pengujian kadar air resapan kerikil
 - e. Pengujian berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun terikat.
6. Proses pembuatan beton meliputi:
 - a. Proses perhitungan bahan campuran beton
 - b. Proses persiapan bahan
 - c. Proses pencampuran beton dengan bahan tambah serbuk kaca
 - d. Pengujian slump test
 - e. Proses pencetakan beton
7. Penimbangan beton segar meliputi:
 - a. berat beton normal
 - b. berat beton dengan campuran serbuk kaca 5%
 - c. berat beton dengan campuran serbuk kaca 15%
 - d. berat beton dengan campuran serbuk kaca 25%
8. Proses pembongkaran cetakan beton
9. Proses perawatan beton (*curing*)



Sumber: Analisa Alur Penelitian.

Gambar 1. Bagan Alur Penelitian.

2.3 Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan SNI kuat tekan didefinisikan sebagai besarnya beban persatuan luas yang menjadikan sampel beton hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_c' = \frac{P}{A}$$

Dimana:

σ_c = Kuat tekan beton (kg/cm^2)

P = Kuat tekan maksimum pada contoh beton

A = Luas penampang (permukaan pada contoh beton [25])

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran meliputi penentuan proposi material yang digunakan sesuai dengan standart yang telah ditentukan. Mutu recana beton yang digunakan yaitu Fc 16,60 Mpa (K200) dengan penggunaan bahan tambah serbuk kaca. Hasil perhitungan proporsi campuran untuk 1 silinder ($0,0053\text{m}^3$) diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2. Kebutuhan Bahan.

Sampel	Semen	Pasir	Krikil	Air
Beton Normal	1,86	3,87	5,46	1,13 (liter)
Beton Serbuk kaca 5%	1,86	3,68	5,46	1,13 (liter)
Beton Serbuk kaca 15%	1,86	3,29	5,46	1,13 (liter)
Beton Serbuk kaca 25%	1,86	2,90	5,46	1,13 (liter)

Sumber: Hasil Penelitian.

Dari **Tabel 1.** diketahui bahwa, untuk kebutuhan material pada beton normal dibutuhkan semen sebesar $1,86\text{ kg/m}^3$, agregat halus berupa pasir sebesar $3,87\text{kg/m}^3$, agregat kasar berupa kerikil sebesar $5,46\text{ kg/m}^3$ dan untuk kebutuhan air sebesar 1,13 liter. Terdapat perbedaan kebutuhan beton agregat halus pada beton variasi serbuk kaca yaitu didasarkan pada prosentase serbuk kaca dari berat agregat halus.

3.2 Hasil Pengujian Slump Test

Pengujian slum dilakukan untuk mengetahui tingkat workability beton, pengujian dilakukan pada masing-masing campuran beton. Hasil pengujian diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian *Slump*.

Sampel	Nilai Slump
Beton Normal	8
Beton Serbuk kaca 5%	9
Beton Serbuk kaca 15%	8
Beton Serbuk kaca 25%	8

Sumber: Hasil Penelitian.

Berdasarkan **Tabel 2.** Dari masing-masing adukan beton tersebut didapatkan nilai slump yang berbeda-beda. Faktor air semen menjadi salah satu hal berpengaruh terhadap nilai slump. Dari hasil pengujian tersebut nilai slump yang didapka berada pada rentang 8 – 9 cm.

3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan

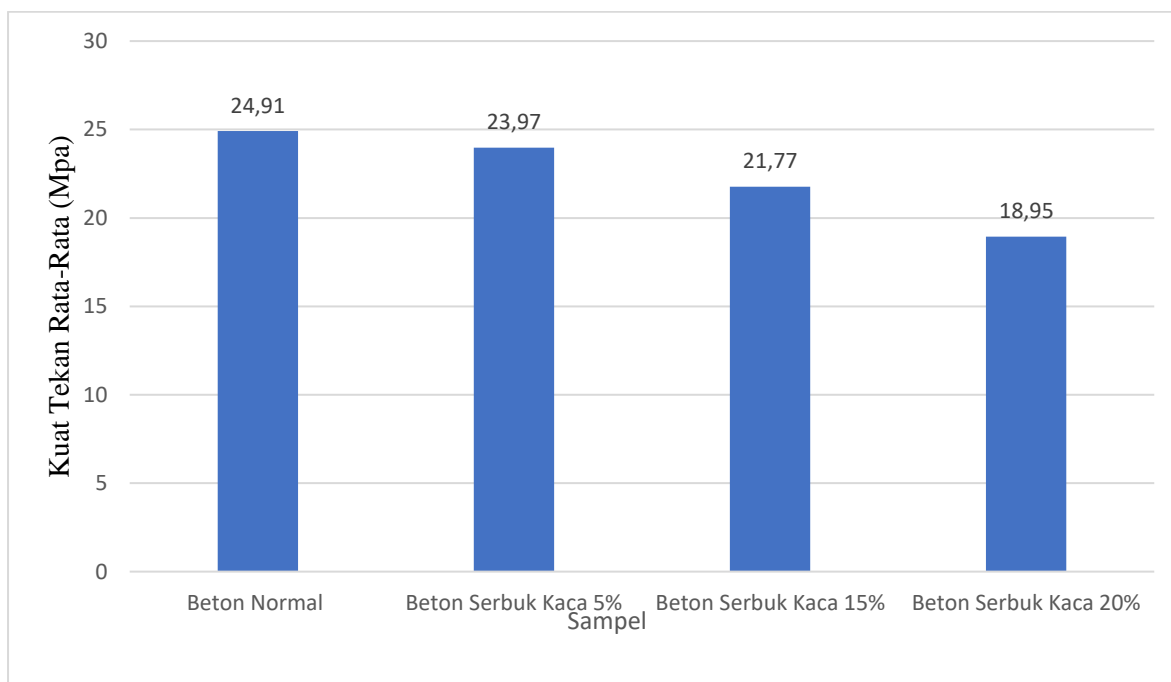
Pengujian dilakukan pada masing-masing sampel, pada setiap variasi terdapat 3 sampel yang akan diuji. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 7 dan 28 hari. Metode yang digunakan mengacu pada SNI 1974:2011. Hasil pengujian diuraikan sebagai berikut:

Tabel 3. Kuat tekan beton umur 7 hari.

Sampel	Kuat Tekan Benda Uji			Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
	I	II	III	
Beton Normal	25,38	26,32	23,03	24,91
Beton Serbuk kaca 5%	24,91	23,50	23,50	23,97
Beton Serbuk kaca 15%	23,50	22,09	19,74	21,77
Beton Serbuk kaca 25%	18,80	18,33	19,74	18,95

Sumber: Hasil Penelitian.

Dari **Tabel 3**. Dapat dilihat bahwa kuat tekan rata-rata tertinggi diperoleh beton normal sebesar 24,91 Mpa. Sedangkan pada beton variasi kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan penambahan serbuk kaca dengan prosentase 5% dengan nilai kuat tekan sebesar 23,97 Mpa. Hasil pengujian kuat tekan juga disajikan kedalam bentuk grafik sebagai berikut



Sumber: Hasil Penelitian.

Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari.

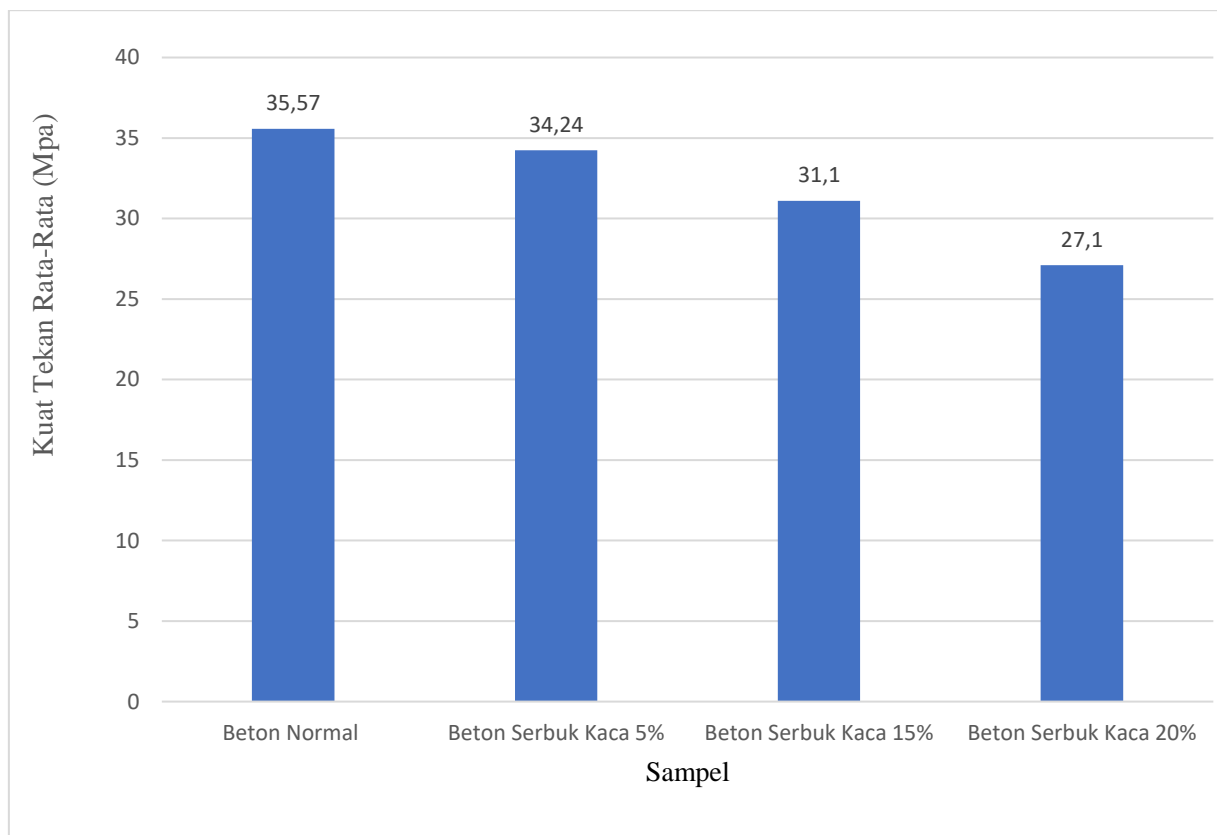
Berdasarkan grafik kuat tekan rata-rata pada umur 7 hari diatas, menunjukkan bahwa kuat tekan beton menurun seiring dengan ditingkatkannya prosentase serbuk kaca.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari.

Sampel	Kuat Tekan Benda Uji			Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
	I	II	III	
Beton Normal	36,25	37,59	32,89	35,57
Beton Serbuk kaca 5%	35,58	33,57	33,57	34,24
Beton Serbuk kaca 15%	33,57	31,55	28,20	31,10
Beton Serbuk kaca 25%	26,85	26,18	28,20	27,10

Sumber: Hasil Penelitian.

Dari **Tabel 4.** Pengujian kuat tekan pada umur beton 28 hari Dari **Tabel 3.** Dapat dilihat bahwa kuat tekan rata-rata tertinggi diperoleh beton normal sebesar 35,57 Mpa. Sedangkan pada beton variasi kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan penambahan serbuk kaca dengan prosentase 5% dengan nilai kuat tekan sebesar 34,24 Mpa. Hasil pengujian kuat tekan juga disajikan kedalam bentuk grafik sebagai berikut.

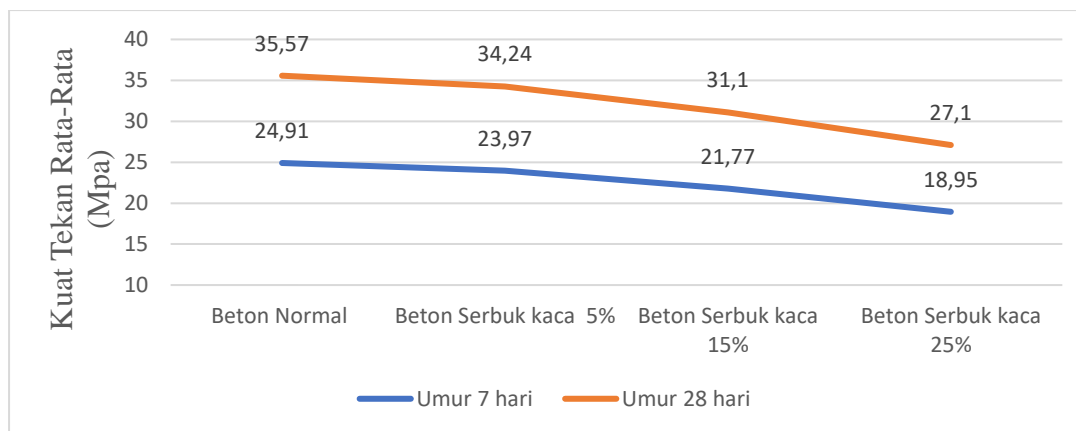


Sumber: Hasil Penelitian.

Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari.

Berdasarkan grafik kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari diatas, menunjukkan bahwa kuat tekan beton menurun seiring dengan ditingkatkannya prosentase serbuk kaca.

Perbandingan dari kedua hasil pengujian kuat tekan beton, yaitu pada umur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada gambar **Gambar 4.** berikut



Sumber: Hasil Penelitian.

Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Beton Umur 7 dan 28 Hari.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa uji kuat tekan beton mutu K-200 menunjukkan adanya penurunan pada semua variasi beton dengan campuran serbuk kaca berikut ini prosentase data kuat tekan beton pada umur 7 hari dan hasil korelasi 28 hari :

1. Nilai slump beton dengan substitusi bubuk kaca di peroleh nilai dari beton normal sebesar 8 cm, dari 5% campuran serbuk kaca didapat nilai 9 cm, campuran 15% didapat nilai 8 cm dan campuran 25% di dapatkan nilai 8 cm. Disimpulkan bahwa campuran serbuk kaca tidak berpengaruh terhadap slump beton tersebut.
2. Kuat tekan kedua desain campuran mengalami penurunan seiring dengan kenaikan persentase substitusi bubuk kaca pada beton. Hanya variasi serbuk kaca 5% yang nilai kuat tekanya hampir mirip dengan beton normal. Kuat tekan beton semakin menurun dengan semakin meningkatnya jumlah prosentase serbuk kaca pada beton hingga 25%.

5.2 Saran

Perlu adanya pengkajian mengenai prosentase serbuk kaca yang ditambahkan. Pengujian bahan pensubstitusi (serbuk kaca) juga perlu dilakukan lebih detail untuk mengetahui kondisi serta kandungan apa saja yang terdapat pada material tersebut. Penggunaan serbuk kaca dengan prosentase tersebut sebagai pensubstitusi atau penambah agregat halus dirasa kurang berdampak secara signifikan, sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan serbuk kaca sebagai pensubstitusi material semen pada beton.

Daftar Pustaka

- [1] H. Pratikto, "Penelitian Kuat Uji Tekan Beton Dengan Memanfaatkan Limbah Beton Yang Tidak Terpakai," *UKaRsT*, vol. 1, no. 2, p. 21, 2017, doi: 10.30737/ukarst.v1i2.411.
- [2] J. Jefrianto, S. Winarto, and Y. C. Setianto Poernomo, "Pemanfaatan Limbah Genteng Sebagai Campuran Semen Dan Penambahan Zat Additiv Master Ease Terhadap Beton K-200," *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, p. 287, 2019, doi: 10.30737/jurmateks.v2i2.527.
- [3] S. Wimaya, A. Ridwan, and S. Winarto, "Modifikasi Beton Fc 9,8 Mpa Menggunakan Abu Ampas Kopi," *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 3, no. 2, p. 234, 2020, doi: 10.30737/jurmateks.v3i2.1096.
- [4] S. D. Hartantyo and M. H. Susianto, "Pengaruh Penambahan Tumbukan Cangkang Keong Mas Terhadap Kuat Tekan Beton Non Struktural K-175," *UKaRsT*, vol. 3, no. 2, p. 7, 2019, doi: 10.30737/ukarst.v3i2.476.
- [5] H. Mushtofa and M. J. Purnomo, "Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *De'Teksi-Jurnal Tek. Sipil Unigoro*, vol. 5, no. 1, pp. 49–60, 2020.
- [6] V. Gokulnath, B. Ramesh, and S. Suvesha, "Influence on flexural properties of glass powder in self compacting concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 22, no. xxxx, pp. 788–792, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.10.153.
- [7] S. E. Mohammadyan-Yasouj and A. Ghaderi, "Experimental investigation of waste glass powder, basalt fibre, and carbon nanotube on the mechanical properties of concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 252, p. 119115, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119115.
- [8] A. S. Raju, K. B. Anand, and P. Rakesh, "Partial replacement of Ordinary Portland cement by LCD glass powder in concrete," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.661.
- [9] M. A. Punusingon, B. D. Handono, and R. Pandaleke, "Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang Dengan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) Dan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 1, pp. 57–66, 2019.
- [10] Astm, "Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement, C 187 – 04," *Astm*, 2004.
- [11] R. Hepiyanto and M. A. Firdaus, "Pengaruh Penambahan Abu Bonggol Jagung Terhadap

- Kuat Tekan Beton K - 200,” *UKaRsT*, vol. 3, no. 2, p. 1, 2019, doi: 10.30737/ukarst.v3i2.475.
- [12] M. G. Musbah, A. Musbah, A. Allam, and H. A. Saleh, “Effects of Superplasticizing Admixtures on the Compressive Strength of Concrete,” *Univers. J. Eng. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 39–45, 2019, doi: 10.13189/ujes.2019.070203.
- [13] J. Kaufmann, “Evaluation of the combination of desert sand and calcium sulfoaluminate cement for the production of concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 243, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118281.
- [14] M. A. Ansori, A. Ridwan, and Y. Cahyo, “Penelitian Uji Kuat Tekan Beton Dengan Memanfaatkan Air Limbah Tetes Tebu Dan Zat Additive Concrete,” *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, p. 16, 2019, doi: 10.30737/jurmateks.v2i1.388.
- [15] V. O. Okonkwo and A. E. E, “A Study of the Effect of Aggregate Proportioning On Concrete Properties,” *Am. J. Eng. Res. (AJER)*, vol. 7, no. 4, pp. 61–67, 2018.
- [16] A. I. Candra, E. Gardjito, Y. Cahyo, and G. A. Prasetyo, “Pemanfaatan Limbah Puntung Rokok Filter Sebagai Bahan Campuran Beton Ringan Berpori,” *UKaRsT*, vol. 3, no. 1, p. 82, 2019, doi: 10.30737/ukarst.v3i1.365.
- [17] S. Kamaruddin, W. I. Goh, A. A. Jhatial, S. S. Mohd Zuki, and A. Faiz, “Self-Compacting concrete with incorporation of recycled concrete aggregates,” *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 11, no. 9, pp. 164–173, 2019.
- [18] D. H. Prayogo, A. Ridwan, and S. Winarto, “Pemanfaatan Limbah Gypsum Board Dan Batu Bata Merah Untuk Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton,” *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, p. 333, 2019, doi: 10.30737/jurmateks.v2i2.542.
- [19] B. Ramesh, V. Gokulnath, and M. Ranjith Kumar, “Detailed study on flexural strength of polypropylene fiber reinforced self-compacting concrete,” *Mater. Today Proc.*, vol. 22, no. 3, pp. 1054–1058, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.292.
- [20] K. L. Jain, G. Sancheti, and L. K. Gupta, “Durability performance of waste granite and glass powder added concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 252, p. 119075, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119075.
- [21] W. Liang and Nusryamsi, “Analisa Kuat Tekan Batako dengan Campuran Serbuk Kaca dan Silica Fume,” *J. Tek. Sipil USU*, 2017.
- [22] ASTM, “Astm D3039/D3039M,” *Annu. B. ASTM Stand.*, 2014, doi: 10.1520/D3039.
- [23] S. 03-2834-2000, “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal,” in *Badan Standardisasi Nasional*, 2000, pp. 1–34.

- [24] M. Rajendran and N. Lavanya, "Influence of perlite and glass fiber on the compressive, split tensile and flexural strength of concrete incorporating glass fiber," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, 2019.
- [25] SNI1974-2011, "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," *Badan Stand. Nas. Indones.*, p. 20, 2011.