

Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Alir

Faris Arsasuta*¹, Nurul Rochmah²

^{1,2}Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya; Jalan Semolowaru 45 Surabaya, Telp.

0315931800/Fax. 0315927817

e-mail: *¹frsarsa@gmail.com, ²nurul-rochmah@untag-sby.ac.id

Abstract

In the current construction development, concrete is the main material used because of its advantages in strength and durability. One of the innovations in the use of concrete is flow concrete, which allows use without compactors and has optimal viscosity. The use of glass powder as a partial substitution of cement is an attractive alternative because of its potential in improving concrete properties. Glass powder has a fairly large silica (SiO₂) content of 75%. Silica has a strong relationship with the compressive strength of concrete. Proper silica in concrete mix can increase the compressive strength of concrete. This study aims to determine the effect of glass powder with variations of 0%, 6%, 8%, 10%, 12% on the compressive strength of flow concrete with a proportion of superplasticizer 1.5%. Compressive strength testing is carried out when concrete reaches the age of 7, 21, 28 days using cylindrical specimens measuring 15 × 30 cm. From the test results, the highest compressive strength value was obtained at 28 days concrete age, namely in an 8% glass powder mixture of 25.61 Mpa and the lowest compressive strength value in a 12% glass powder mixture of 21.26 Mpa. Based on the results of this study, it can be concluded that glass powder as a partial substitution of cement can increase the compressive strength of flow concrete with an optimal glass powder mixture of 8%.

Keywords— *Flowing Concrete, Glass Powder, Compressive Strength*

PENDAHULUAN

Perkembangan zaman pada saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat terutama pada perkembangan dunia konstruksi. Pemakaian konstruksi beton meningkat seiring dengan tingginya kebutuhan dan pembangunan infrastruktur. Beton merupakan suatu material yang paling banyak digunakan dalam suatu konstruksi bangunan pada kemajuan zaman saat ini [1]. Beton merupakan campuran dari beberapa material dasar yaitu semen, pasir, kerikil atau batu pecah, dan air yang kemudian mengeras menjadi material yang kuat dan tahan lama.

Beton alir (*Flowing Concrete*) merupakan beton yang mampu mengalir sendiri tanpa mengakibatkan segregasi dan bleeding dengan nilai slump lebih dari 7,5 inchi (190mm) [2]. Beton alir mampu mengalir sendiri tanpa bantuan alat pemadat beton dan mengisi semua ruang mengikuti prinsip gravitasi. Beton alir ini berbeda dengan beton normal. Beton ini memanfaatkan pengaturan ukuran agregat kasar, porsi agregat, dan pencampuran *superplasticizer* digunakan agar mencapai kekentalan khusus sehingga dapat mengalir sendiri. Kelebihan beton alir ini yaitu mampu mengalir ke semua celah termasuk pengecoran dengan tulangan pembesian yang cukup rapat dengan memanfaatkan berat sendiri campuran beton tersebut.

Superplasticizer merupakan suatu bahan tambah yang dicampurkan dalam beton yang berfungsi sebagai pengental atau meningkatkan nilai slump untuk memudahkan *workability* [3]. *Superplasticizer* dapat menambah atau meningkatkan mutu beton karena dapat mengurangi

pemakaian air sehingga faktor air semen menjadi rendah dengan nilai slump yang meningkat. Faktor air semen merupakan faktor penentu mutu suatu beton.

Limbah merupakan zat atau bahan yang sudah tidak terpakai atau sisa suatu proses produksi. Limbah dapat mencemari lingkungan juga tidak ada nilai ekonomi jika tidak di olah kembali. Banyaknya jenis limbah salah satunya yaitu limbah berbahan baku kaca. Limbah kaca dapat terurai sepenuhnya ke membutuhkan 1 juta tahun lamanya.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, berdasarkan jenisnya, menyebutkan bahwa limbah kaca yang dihasilkan oleh 38 provinsi di Indonesia sekitar 2.2 % dari total sampah timbulan 35,925,892.6 ton [4]. Meskipun limbah kaca di Indonesia hanya beberapa persen tetapi jika tidak dimanfaatkan dengan baik maka limbah kaca akan menjadi hal yang dapat merusak lingkungan.

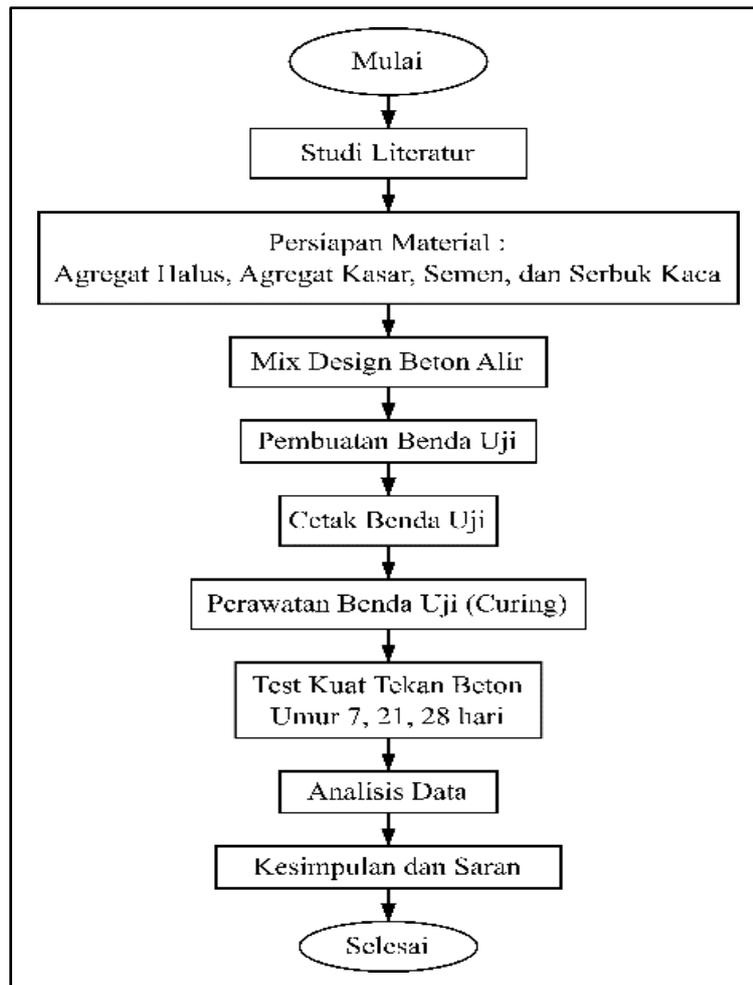
Oleh karna itu limbah kaca dapat digunakan sebagai salah satu alternatif sebagai substitusi parsial semen dengan memanfaatkan limbah kaca dari sisa sisa pembuatan kaca. Limbah kaca memiliki kandungan silica yang cukup besar yaitu berkisar 70% dan memiliki potensi material *pozzoland* [5]. Silica memiliki hubungan yang kuat dengan kuat tekan beton. Silica merupakan bahan utama dalam campuran beton, terutama dalam bentuk agregat halus. Silica yang tepat dalam campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton. Silica dalam bentuk halus dapat menghasilkan lebih banyak gel silika hidrat, yang membantu dalam membentuk jaringan yang lebih padat dan kohesif dalam struktur beton.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh [6] dapat di simpulkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada umur 28 hari dengan penambahan serbuk kaca sebesar 10% yaitu 24,04 Mpa. Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh [7] didapat bahwa nilai kuat tekan mengalami penurunan pada umur 28 hari dengan penambahan serbuk kaca sebesar 15% yaitu 24,13 Mpa.

Oleh karena itu penulis ingin melakukan penelitian ini untuk mempelajari dan mengetahui pengaruh serbuk kaca terhadap kuat tekan pada beton alir dengan variasi campuran serbuk kaca sebesar 0%, 6%, 8%, 10%, 12% dengan SP (*superplasticizer*) proporsi 1,5%. Karena pada penelitian sebelumnya dengan penambahan serbuk kaca antara 10% dan 15% jarak presentasinya masih terlalu jauh untuk menemukan presentase yang optimum, sehingga penulis ingin mencoba mengambil variasi serbuk kaca antara 10% dan 15% yaitu sebesar 12%. Penulis ingin mencoba variasi serbuk kaca 12% karena ingin mengetahui apakah dengan variasi 12% tersebut nilai kuat tekannya masih meningkat atau justru semakin menurun atau lebih rendah dari variasi 10%.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir

Studi Literatur

Studi literatur merupakan salah satu cara yang digunakan dalam menghimpun data-data sumber atau referensi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur bertujuan untuk memperkuat teori dan pengetahuan yang telah ada, sehingga dapat memberikan pemahaman lebih terkait penelitian yang ingin dilakukan.

Persiapan Material

Agregat halus

Agregat halus merupakan agregat atau batuan yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,75 mm [8]. Ukuran agregat halus atau pasir biasanya lolos ayakan No. 4 (lebih kecil dari 3/16 inci).

Agregat kasar

Agregat kasar merupakan agregat atau batuan yang memiliki ukuran lebih besar dari agregat halus yaitu 4,75 mm [8]. Menurut [9] agregat kasar merupakan batu pecah atau kerikil yang sebagian besar butirannya berukuran 5 – 80 mm.

Semen

Menurut [9] semen merupakan suatu material yang terdiri dari silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai pembantu yang dihasilkan dengan cara digiling halus. Semen memiliki fungsi utama yaitu sebagai perekat atau pengikat agregat sehingga menjadi padat. Semen juga memiliki fungsi lain yaitu sebagai pengisi rongga udara diantara butir-butir agregat [10].

Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam campuran beton. Air dalam campuran beton merupakan air yang digunakan sebagai bahan pemantu dalam konstruksi bangunan di Indonesia. Kegunaan air dalam konstruksi bangunan yaitu penggunaan dan perawatan beton pematangan kapur, adukan pasangan plesteran [9].

Superplasticizer

Superplasticizer merupakan suatu bahan tambah yang dicampurkan dalam beton yang berfungsi sebagai pengental atau meningkatkan nilai slump untuk memudahkan *workability* [3]. *Superplasticizer* dapat menambah atau meningkatkan mutu beton karena dapat mengurangi pemakaian air sehingga faktor air semen menjadi rendah dengan nilai slump yang meningkat. Faktor air semen merupakan faktor penentu mutu suatu beton. Penambahan *superplasticizer* sebesar 1,5% dapat menambah kuat tekan beton [11].

Kaca

Kaca merupakan bahan yang bening atau transparan yang dihasilkan dari campuran silikon dioksida (SiO₂), yang secara kimia sama dengan kuarsa. Kaca adalah suatu bahan yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai golongan keramik lainnya [12].

Kaca merupakan suatu bahan yang sudah tidak terpakai atau sisa dari kegiatan rumah tangga maupun kegiatan industri [5]. Limbah kaca merupakan salah satu limbah yang tidak bisa terurai. Limbah kaca dapat terurai sepenuhnya ke membutuhkan 1 juta tahun lamanya.



Gambar 2 Limbah Kaca

Pengujian Material

Pengujian material merupakan pengujian terkait sifat-sifat mekanik dan fisis pada material tersebut. Material yang akan digunakan harus dilakukan pengujian terlebih dahulu yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan sifat dari masing-masing material. Mengetahui sifat dan karakteristik material harus dilakukan pengujian yang bertujuan untuk memperoleh material yang berkualitas dan sesuai dengan klasifikasinya [13].

Pengujian agregat halus dan agregat kasar

Agregat halus pada penelitian ini berasal dari lumajang dan termasuk dalam klasifikasi zona 2. Agregat kasar menggunakan batu pecah berdiameter 20 mm. proporsi agregat halus dan agregat kasar dalam penelitian ini adalah sebesar 52% untuk agregat halus dan 48% untuk agregat kasar.

Pengujian semen

Pengujian semen merupakan salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kualitas semen yang akan digunakan dalam suatu proyek konstruksi. Pengujian semen bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik semen. Pengujian pada penelitian kali ini yaitu dilakukan secara visual dengan cara melihat secara fisik semen tersebut apakah masih layak digunakan atau tidak.

Pengujian air

Pengujian air merupakan suatu pengujian dimana bertujuan untuk mengetahui kondisi air yang akan digunakan dalam campuran beton. air termasuk bahan yang utama dalam campuran beton karena jika tidak ada air maka beton tidak akan encer dan tidak bisa digunakan. Pengujian air dilakukan secara visual, air yang digunakan untuk membuat campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam sulfat, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton.

Pengujian serbuk kaca

Serbuk kaca merupakan bahan limbah dari pecahan kaca yang selanjutnya dihaluskan menjadi serbuk. Limbah kaca memiliki kandungan silika yang cukup besar. Kaca terbuat dari 75% silika (SiO_2) ditambah Na_2O , CaO , dan adiktif lainnya. Kaca memiliki suhu leleh sekitar 2000°C .

Serbuk kaca yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kaca bening dimana serbuk kaca harus lolos pada saringan No. 200 karena untuk memperoleh butiran serbuk kaca yang lebih halus dan mirip dengan semen. Hal ini untuk mengoptimalkan tekstur serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen pada beton. Berikut ini merupakan cara mengahluskan kaca menjadi serbuk:

- Menyiapkan kaca yang akan digunakan sebagai substitusi parsial semen. Pada penelitian ini menggunakan kaca bening;
- Pecahkan potongan kaca menjadi kecil – kecil;
- Tumbuk kaca hingga halus;
- Saring serbuk kaca menggunakan saringan No. 200;
- Simpan serbuk kaca yang telah disaring ke dalam wadah.



Gambar 3 Penumbukan Serbuk Kaca



Gambar 4 Penyaringan Serbuk Kaca Menggunakan Ayakan No. 200

Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Benda uji yang akan diuji diberi bahan tambah Serbuk Kaca dengan variasi komposisi 0%, 6%, 8%, 10% dan 12%. Komposisi dengan presentase 0% merupakan beton normal. Serbuk kaca tersebut selanjutnya menggantikan sebagian proporsi semen yang terdapat dalam campuran. Benda uji yang digunakan untuk untuk kuat tekan adalah silinder berukuran 15×30 cm. Berikut ini merupakan proporsi dari masing – masing material penyusun beton per 3 benda uji.

Tabel 1 Proporsi Material Aktual Silinder 15 cm × 30 cm per 3 Benda Uji

Komposisi	Semen (kg)	SK (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)		SP (kg)	Air (kg)
				10 -20	5 -10		
SK 0 %	9,054	0	18,301	12,491	4,025	0,136	4,029
SK 6%	8,884	0,567	18,092	12,348	3,972	0,142	4,036
SK 8 %	8,824	0,767	18,018	12,298	3,963	0,144	4,029
SK 10 %	8,762	0,974	17,942	12,246	3,946	0,146	4,029
SK 12 %	8,698	1,130	17,895	12,214	3,936	0,147	4,030

Tes Kuat Tekan Beton

Menurut [14] pengujian kuat tekan beton merupakan pengujian beton dalam menahan gaya yang tergantung pada hubungan regangan – tegangan yang terjadi pada beton dan juga jenis tegangan yang dapat ditahan karena sifat yang dimiliki beton nilai kuat tarik relatif rendah, maka beton bekerja dengan baik diarea tekan pada penampangnya dan hubungan regangan – tegangan pengaruh gaya tekan dapat digunakan sebagai dasar perhitungan.

Menurut [15] kuat tekan beton yaitu suatu kemampuan beton dalam menerima gaya tekan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan cara menggunakan alat uji tekan pada benda uji.

Menurut [14] perhitungan yang digunakan dalam pengujian kuat tekan beton yaitu sebagai berikut:

$$f_c = \frac{p}{A} \quad (1)$$

Dimana:

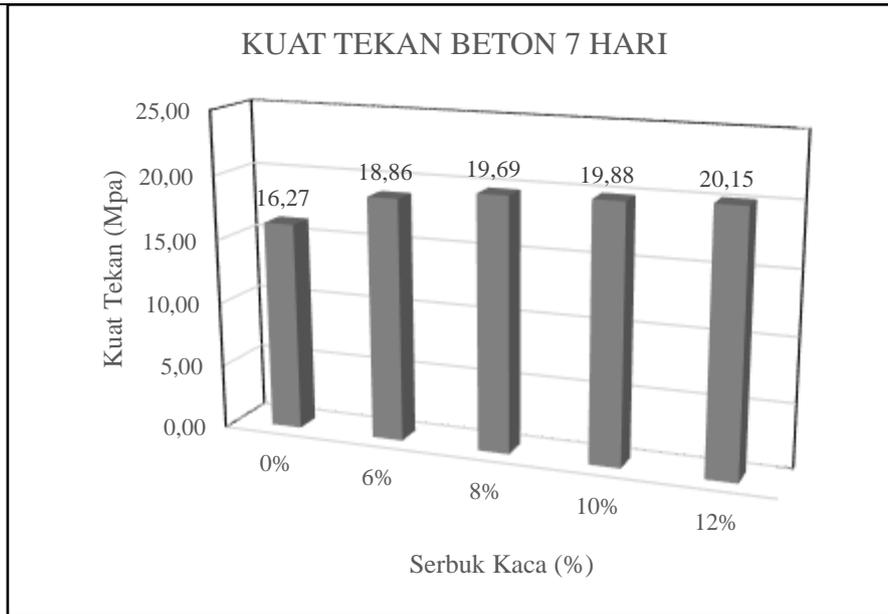
f_c = Kuat tekan Silinder Beton (Mpa);

P = Beban Tekan Maksimum (kg);

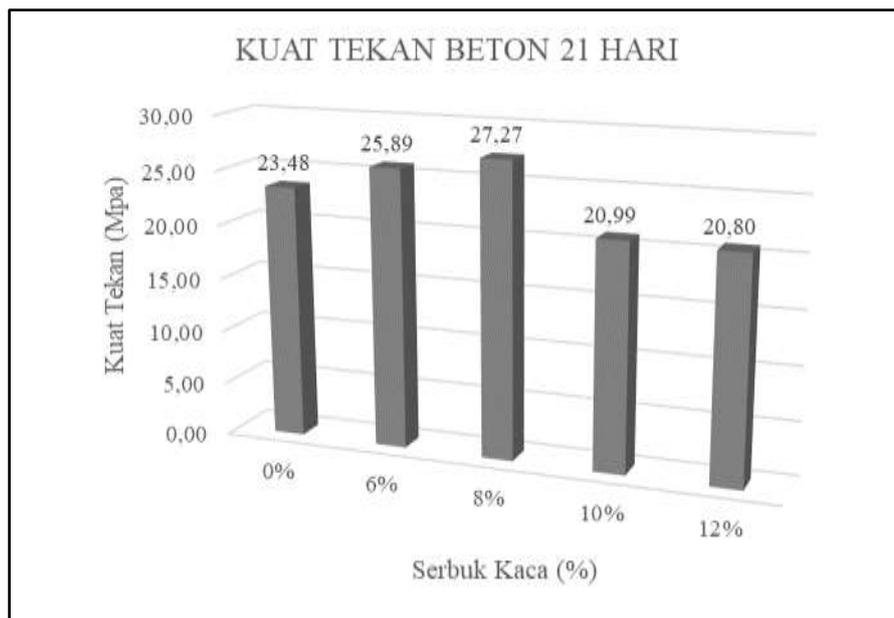
A = Luas Bidang Tekan (cm³).

HASIL DAN PEMBAHASAN

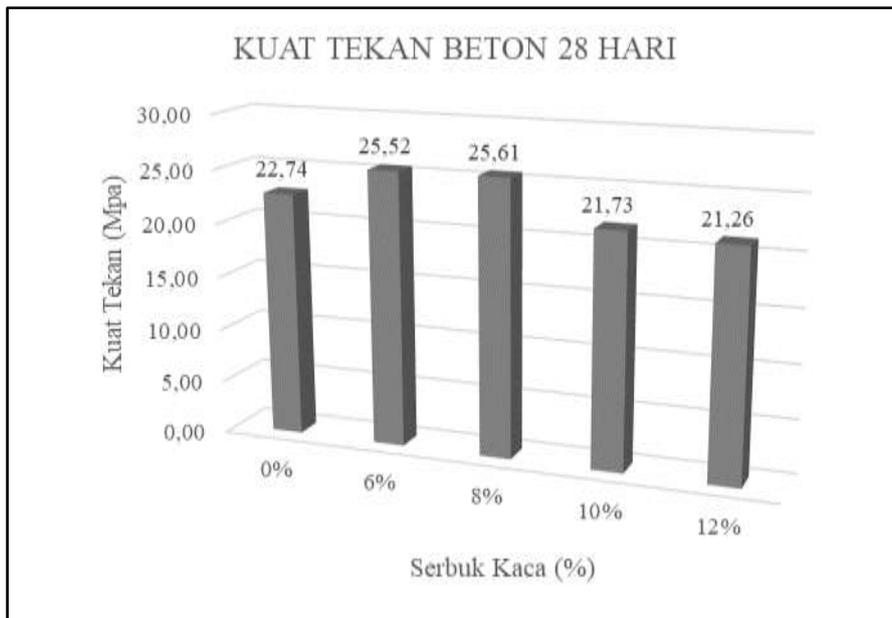
Berikut ini merupakan hasil dari pengujian kuat tekan beton alir yang disajikan dalam bentuk grafik beserta penjelasannya:



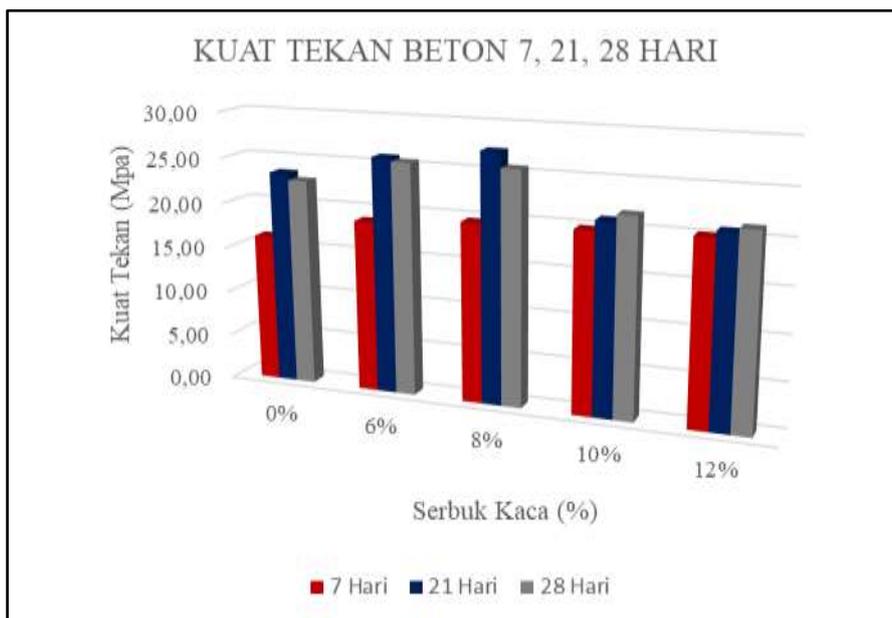
Gambar 5 Grafik Kuat Tekan Beton 7 Hari



Gambar 6 Grafik Kuat Tekan Beton 21 Hari



Gambar 7 Grafik Kuat Tekan Beton 28 Hari



Gambar 8 Grafik Kuat Tekan Beton 7, 21, 28 Hari

Umur 7 hari nilai kuat tekan campuran serbuk kaca 0% yaitu sebesar 16,27 Mpa. Dengan penambahan serbuk kaca dengan variasi 6%, 8%, 10%, dan 12% mengalami kenaikan berturut turut pada nilai kuat tekan yaitu sebesar 18,86 Mpa, 19,69 Mpa, 19,88 Mpa, dan 20,15 Mpa. Nilai kuat tekan tertinggi yaitu pada campuran serbuk kaca 12% yaitu sebesar 20,15 Mpa.

Umur 21 hari nilai kuat tekan campuran serbuk kaca 0% yaitu sebesar 23,48 Mpa dan seiring bertambahnya campuran serbuk kaca maka nilai kuat tekan semakin meningkat pada variasi 6% dan 8 % yaitu sebesar 25,89 Mpa dan 27,27 Mpa. Namun pada campuran serbuk kaca 10% dan 12% mengalami penurunan nilai kuat tekan yaitu sebesar 20,99 Mpa dan 20,80 Mpa.

Nilai kuat tekan tertinggi yaitu pada campuran serbuk kaca 8% yaitu sebesar 27,27 Mpa dan nilai kuat tekan terendah pada campuran serbuk kaca 12% yaitu sebesar 20,80 Mpa.

Umur 28 hari nilai kuat tekan campuran serbuk kaca 0% yaitu sebesar 22,74 Mpa dan seiring bertambahnya campuran serbuk kaca maka nilai kuat tekan semakin meningkat pada variasi 6% dan 8 % yaitu sebesar 25,52 Mpa dan 25,61 Mpa. Namun pada campuran serbuk kaca 10% dan 12% mengalami penurunan nilai kuat tekan yaitu sebesar 21,73 Mpa dan 21,26 Mpa. Nilai kuat tekan tertinggi yaitu pada campuran serbuk kaca 8% yaitu sebesar 25,61 Mpa dan nilai kuat tekan terendah pada campuran serbuk kaca 12% yaitu sebesar 21,26 Mpa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kuat tekan beton tertinggi pada umur 7 hari yaitu pada campuran serbuk kaca 12% sebesar 20,15 Mpa dan nilai kuat tekan terendah pada campuran serbuk kaca 0% sebesar 16,27 Mpa;
2. Hasil pengujian kuat tekan beton tertinggi pada umur 21 hari yaitu pada campuran serbuk kaca 8% sebesar 27,27 Mpa dan nilai kuat tekan terendah pada campuran serbuk kaca 12% sebesar 20,80 Mpa;
3. Hasil pengujian kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari yaitu pada campuran serbuk kaca 8% yaitu sebesar 25,61 Mpa dan nilai kuat tekan terendah pada campuran serbuk kaca 12% yaitu sebesar 21,26 Mpa;
4. Meningkatnya nilai kuat tekan beton dengan campuran serbuk kaca disebabkan oleh tingginya kandungan silika pada kaca tersebut. Serbuk kaca dapat berfungsi sebagai pengganti sebagian semen karena berpotensi sebagai bahan pozzolan dengan kandungan silika (SiO_2), Na_2O , dan CaO yang besar pada kaca yaitu 70%. Kemudian untuk penurunan nilai kuat tekan beton dikarenakan kaca tidak mempunyai daya serap air dan kekerasan kaca membuat beton tahan abrasi. Kaca memiliki sifat keras dan tidak dapat menyerap air sehingga semakin bertambahnya persentase serbuk kaca akan menurunkan kekuatan beton dan kaca tidak mempunyai sifat yang dapat mengikat seperti halnya semen sehingga daya rekat pada campuran beton semakin menurun seiring bertambahnya presentase serbuk kaca;
5. Presentase optimal dengan campuran serbuk kaca pada umur 28 hari yaitu pada variasi 8% dengan nilai kuat tekan sebesar 25,61 Mpa. Kuat tekan beton dengan campuran serbuk kaca 8% layak digunakan karena dapat meningkatkan kuat tekan beton.

SARAN

Penelitian yang telah dilakukan, agar kedepannya mendapatkan hasil yang lebih baik maka disarankan untuk memperhatikan hal-hal berikut ini:

1. Setelah material sudah disiapkan maka sebaiknya untuk menyimpan material pada tempat yang tidak terkena sinar matahari atau terkena hujan agar tidak merubah kondisi pada material tersebut sehingga mutu dari material tetap terjaga;

2. Sebelum melakukan penelitian sebaiknya dicek terlebih dahulu alat yang akan digunakan apakah alat tersebut masih layak atau sudah dikalibrasi agar pada saat penelitian mendapatkan hasil yang akurat;
3. Menghaluskan kaca sebaiknya menggunakan alat pelindung diri yang lengkap dan diharapkan untuk ber hati-hati karena dapat menyebabkan luka pada mata dan menyebabkan goresan atau luka jika terkena kulit;
4. Melakukan pencampuran beton diharapkan untuk memperhatikan durasi pengadukan agar adonan beton benar-benar tercampur dengan merata;
5. Silinder beton yang akan digunakan sebagai cetakan sebaiknya tidak melumasi oli terlalu banyak karena dapat tercampur dan mempengaruhi beton tersebut;
6. Melakukan *curing* sebaiknya memperhatikan kondisi air dan kolam yang akan digunakan agar benda uji tidak terkontaminasi;
7. Penelitian ini bisa dijadikan literatur tambahan bagi penelitian selanjutnya, dengan harapan hasil penelitian selanjutnya bisa lebih baik lagi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari dorongan dan bantuan berbagai pihak. Maka dari itu atas selesainya Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Nurul Rochmah, ST., MT., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan serta bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Setiabudi, J. Riov, F. A. Winansa, R. Yohannes, dan A. A. Setiawan, 2019, “Kajian Penggunaan Potongan Ban Bekas Terhadap Kuat Tekan Beton,” vol. 6.
- [2] Achmad ihza Mahendra, Nurul Rochmah, dan Herry Widhiarto, Jun 2023, “Pengaruh Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Alir,” *Student Scientific Creativity Journal*, vol. 1, no. 4, hlm. 117–126, doi: 10.55606/sscj-amik.v1i4.1577.
- [3] S. Umiati¹, R. Thamrin², dan N. Harti³, 2019, “Pengaruh Penambahan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton”.
- [4] KLHK, “Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional.” Diakses: 23 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [5] J. Andilolo, D. Pranata Putra Ambali, dan M. Paembonan, 2019, “Karakterisasi Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Sifat Fisis-Mekanis Campuran Beton”.
- [6] R. Simanullang dan R. Butar-Butar, 2017, “Pengaruh Pencampuran Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”.
- [7] H. Yohanes Karwur, R. Tenda, S. E. Wallah, dan R. S. Windah, 2013, “Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen,” vol. 1, no. 4, hlm. 276–281.

-
- [8] mardewi Jamal, M. Indra, dan F. N. Abdi, 2023, “Analisis Variasi Kandungan Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Agregat Pumice Dan Material Lokal,” vol. 13, no. 1.
- [9] PUBI - 1982, “Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia,” 1982.
- [10] A. Artika¹ dan F. Herista³, 2021, “Analisis Substitusi Arang Tempurung Kelapa Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu F’c 16,6 Mpa,” *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, vol. 1, [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.ensiklopediaku.org>
- [11] A. Adityo, A. Marthin, D. J. Sumajouw, dan R. E. Pandaleke, 2014, “Pengaruh Variasi Kadar Superplasticizer Terhadap Nilai Slump Beton Geopolymer,” *Jurnal Sipil Statik*, vol. 2, no. 6, hlm. 283–291.
- [12] S. S. Sejati dan L. I. Gunawan, 2019, “Serbuk Kaca Sebagai Bahan Tambah Pembuatan Beton Normal Berdasarkan Gradasi Pasir Zona 3 Sumanti Sri Sejati 1) , Luky Indra Gunawan 2),”.
- [13] W. Hidayat, 2019, “Klasifikasi dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian material”.
- [14] SNI 03 1974 1990, “Metode Pengujian Kuat Tekan Beton,” 1990.
- [15] Amiwarti dan Mahipal, 2019, “Analisa Pengaruh Serbuk Kaca Dan Abu Terbang Sebagai Bahan Pengganti Alternatif Terhadap Kuat Teka Beton,” vol. 4, no. 1.