

# Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan Fly Ash dan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengisi

## *High Quality Concrete Compressive Strength by Using Fly Ash and Glass Powder as Filler*

Siska Apriwelni<sup>1,\*</sup>, Nugraha Bintang Wirawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Lampung Selatan, Indonesia

\* Penulis korespondensi : siska.apriwelni@si.itera.ac.id  
Tel.: +62-821-6975-7275; Fax.: -  
Diterima: 15 April 2020; Direvisi: 27 April 2020; Disetujui: 28 April 2020  
DOI: 10.25299/saintis2020.vol20(01).4846

### Abstrak

Penelitian ini membahas pengaruh kuat tekan beton mutu tinggi dengan memanfaatkan limbah *fly ash* dan limbah kaca. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kuat tekan beton pada masing-masing variasi, mengetahui persentase campuran beton untuk menghasilkan kuat tekan maksimum, dan mengetahui apakah *fly ash* dan serbuk kaca efektif digunakan secara bersamaan sebagai bahan campuran beton. Komposisi *fly ash* terdiri dari 5 variasi yaitu persentase 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Sedangkan untuk komposisi serbuk kaca terdiri dari 2 variasi yaitu persentase 5% dan 10%. Jumlah benda uji 30 buah silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan 3 benda uji untuk setiap variasi. Perencanaan campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2000 yang dimodifikasi. Pengujian kuat tekan diuji pada umur beton 28 hari. Beton dengan *fly ash* 0% dan serbuk kaca 10% memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan beton dengan tambahan *fly ash*, yaitu 46,77%. Selain itu, dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya jumlah persentase serbuk kaca yang digunakan menunjukkan bahwa kuat tekan beton semakin bertambah juga. Penambahan *fly ash* pada campuran beton mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan. Pada variasi *fly ash* 0% memiliki kuat tekan tertinggi baik pada saat campuran serbuk kaca 5% dan 10%. Variasi *fly ash* 15% adalah kondisi optimum campuran beton dengan kuat tekan beton yaitu 43,31 Mpa. Kedua limbah ini dapat dikombinasikan dan dimanfaatkan dengan baik dan digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi.

**Kata Kunci:** beton mutu tinggi, *fly ash*, serbuk kaca, kuat tekan

### Abstract

This study discusses the effect of high quality concrete by utilizing fly ash and glass waste. The purpose of this study is to determine the compressive strength of concrete in each variation, to determine the contribution of concrete to produce compressive strength, and to find out that fly ash and glass powder are effectively used in full as a concrete admixture. Fly ash composition consists of 5 variations, namely the percentage of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%. While for the composition of glass powder consists of 2 variations, namely the percentage of 5% and 10%. The number of specimens is 30 cylinders with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm with 3 specimens for each variation. Concrete mixture planning using SNI 03-2834-2000 was developed. Compressive strength testing on concrete age 28 days. Concrete with 0% fly ash and 10% glass powder have the highest compressive strength compared to concrete with additional fly ash, which is 46.77%. In addition, it can increase the amount of glass powder addition that is used to show the concrete compressive strength is increasing as well. The addition of fly ash in the concrete mixture has an effect on the compressive strength of the concrete produced. In the variation of 0% fly ash has the highest compressive strength when the glass powder mixture of 5% and 10%. The 15% fly ash variation is the optimal concrete mixture with compressive strength of 43.31 MPa. These two wastes can be combined and utilized properly and are used in making high quality concrete.

**Keywords:** high quality concrete, fly ash, glass powder, compressive strength

## PENDAHULUAN

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) adalah beton yang memiliki nilai kuat tekan diatas 40 MPa. Beton mutu tinggi adalah beton yang memerlukan perlakuan yang khusus [1]. Struktur bangunan gedung bertingkat tinggi, struktur jembatan atau bangunan beton mutu tinggi lainnya memerlukan kuat tekan yang besar untuk dapat memikul beban struktur yang diterima [2]. Alasan penggunaan beton mutu tinggi pada struktur bangunan antara lain karena memiliki kemampuan kuat tekan yang tinggi di awal, mampu mereduksi

ukuran kolom yang digunakan dan meningkatkan luasan ruang, dan memiliki durabilitas yang tinggi.

Ada beberapa faktor untuk mendapatkan kuat tekan beton bermutu tinggi, yaitu [3]:

1. Kemampuan penyerapan material sesuai standar
2. Proses pelaksanaan campuran agregat kasar dan agregat halus dengan pasta semen.
3. Proses pelaksanaan pengecoran
4. Proses *curing* beton sebelum beton diuji

Material bahan beton yang digunakan semakin bervariasi seiring dengan perkembangan zaman. Berbagai macam usaha dilakukan untuk mendapatkan kualitas beton yang baik dan juga

tentunya dengan biaya yang lebih ekonomis. Pemanfaatan material limbah *fly ash* merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan mutu beton, pengurangan biaya produksi beton dengan mengurangi jumlah pemakaian semen, serta upaya pengurangan pencemaran lingkungan yang diakibatkan limbah.

Pembangkit Listrik Tarahan Lampung adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi dari batu bara dan menghasilkan limbah *fly ash*. Limbah *fly ash* diharapkan dapat menghasilkan kekuatan beton dengan mutu yang tinggi dan mengurangi polusi yang dihasilkan oleh perusahaan tersebut.

Limbah kedua adalah limbah kaca yang diproduksi oleh industri dan rumah tangga. Penggunaan kaca pada beton dilakukan dengan tujuan meningkatkan kekuatan tekan beton dan mengurangi limbah kaca yang dapat mencemari lingkungan.

Kaca adalah bahan yang mudah ditemukan dan memiliki nilai ekonomis, selain itu kaca juga memiliki ketahanan terhadap abrasi yang baik dan tahan terhadap serangan cuaca atau serangan kimia karena mengandung silika. Material kaca yang tidak menyerap air sehingga memiliki tingkat durabilitas yang tinggi[4]. Botol kaca atau bohlam yang tidak digunakan kemudian dihancurkan dan diharapkan menjadi pengisi beton berkualitas tinggi.

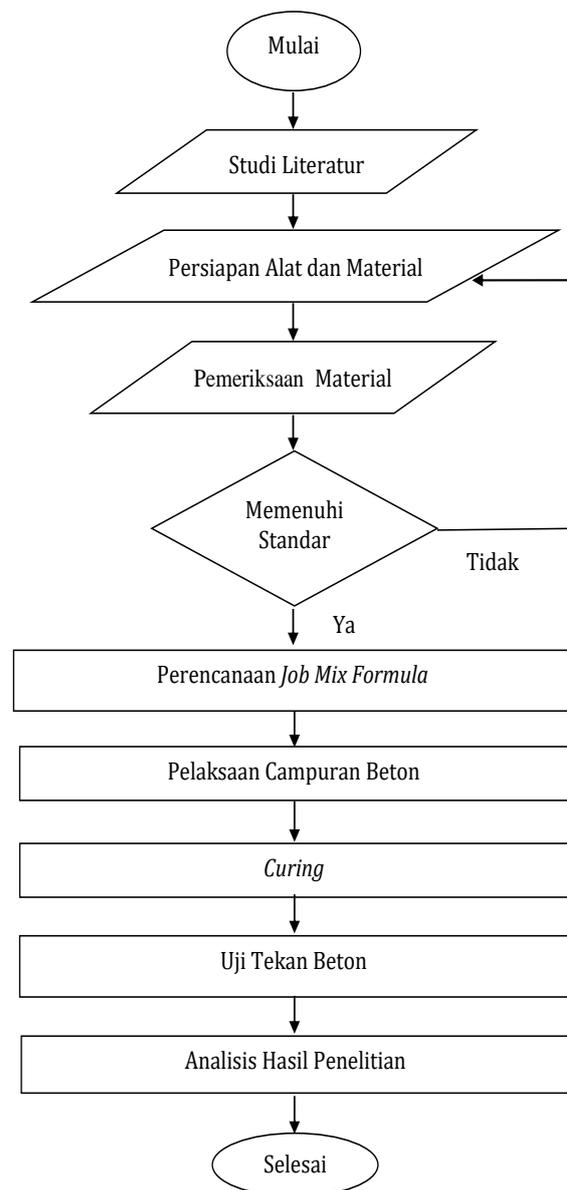
Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh substitusi *fly ash* dan bahan limbah kaca pada kekuatan tekan beton mutu tinggi dan dampak positifnya terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penulis menggunakan persentase *fly ash* dan serbuk kaca yang berbeda dalam penelitian ini untuk membandingkan kekuatan tekan sampel beton. Objek uji yang digunakan adalah 30 sampel beton.

**METODOLOGI**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan. Beberapa tahap penelitian yang dilakukan yaitu : studi pustaka dan literatur yang berkaitan dengan topik penelitian, persiapan material pembuatan beton, pemeriksaan material pembuatan beton, perencanaan *job mix formula* untuk beton mutu tinggi, pelaksanaan campuran beton, perawatan beton pada bak rendam, pemeriksaan mutu beton dengan uji tekan dan analisis hasil penelitian. Adapun tahapan penelitian digambarkan pada Gambar 1.

**Persiapan Material**

Pada tahap persiapan material ini seluruh bahan-bahan campuran beton dan peralatan yang dibutuhkan dipersiapkan seperti:



**Gambar 1.** Bagan Alir Penelitian

1. Semen Portland berfungsi sebagai pengikat agregat dalam beton. Semen yang dipakai adalah semen PCC tipe I dengan merek Semen Padang dalam satuan 50 kg/sak. Kondisi semen terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Semen

2. Pecahan batu dengan diameter agregat tidak lebih dari 20 mm, Kondisi batu pecah terlihat seperti pada Gambar 3 digunakan sebagai agregat kasar pada penelitian ini. Agregat didapatkan dari Sumber Batu Berkah (SBB), Lampung Selatan.



**Gambar 3.** Batu Pecah

3. Pasir yang digunakan sebagai agregat halus didapatkan dari Gunung Sugih, Lampung Tengah seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Pasir

4. Air bersih didapatkan dari instalasi air di Laboratorium Struktur, Institut Teknologi Sumatera.
5. Serbuk kaca yang digunakan adalah pecahan kaca limbah yang tak terpakai dan botol- botol kaca bekas yang telah dihancurkan. Serbuk kaca digunakan sebagai bahan pengisi dengan menggunakan persentase penambahan dari jumlah powder (semen+ *fly ash*). Serbuk kaca yang dipakai sebagai campuran adalah serbuk kaca yang lewat saringan no. 50, lewat saringan no. 100, dan lewat saringan no. 200 seperti pada Gambar 5 [5]. Ada dua variasi untuk serbuk kaca yang digunakan yaitu 5% dan 10%.



**Gambar 5.** Serbuk Kaca

6. *Fly Ash* yang digunakan berasal limbah batu bara yang diproduksi oleh PLTU yang berada di Tarahan, Lampung Selatan. *Fly ash* digunakan sebagai bahan substitusi semen dalam campuran pembuatan beton. Variasi penggunaan campuran *fly ash* adalah persentase 0%, persentase 5%, persentase 10%, persentase 15% dan persentase 20% dari berat total semen yang digunakan untuk 1 sampel beton.

#### **Pemeriksaan Material**

Pengujian pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap semen, batu pecah, pasir, air, serbuk kaca dan *fly ash*. Pemeriksaan material ini bertujuan untuk mengetahui apakah material tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditentukan dari segi sifat dan karakteristik sebagai bahan campuran [6]. Hasil dari pengujian ini juga akan digunakan sebagai data properties pembuatan rancangan campuran beton.

Pengujian material meliputi analisa saringan agregat, pemeriksaan kadar air, kadar lumpur, penyerapan, kandungan zat organis agregat dan berat jenis dari material.

1. Pemeriksaan semen meliputi pemeriksaan tanggal produksi, pemeriksaan visual dengan cara melihat bentuk semen tidak menggumpal dan padat. Kondisi semen yang baik akan mengembang sebelum mengendap saat berada di permukaan air. Bubuk semen terasa dingin ketika disentuh dan terasa halus seperti bedak, merupakan bubuk semen yang baik. Untuk pengujian laboratorium pada semen yaitu pengujian berat jenis semen [7]
2. Pemeriksaan agregat kasar, meliputi pemeriksaan visual, kepipihan serta kelonjongan agregat, semakin bulat suatu agregat maka akan semakin baik, pemeriksaan kadar air [8], pemeriksaan berat jenis agregat dan penyerapan [9], pemeriksaan analisis saringan [10] dan berat volume agregat kasar [11].
3. Pemeriksaan pada agregat halus meliputi pemeriksaan kadar air pada agregat halus [8], Pemeriksaan berat jenis agregat halus dan penyerapan [12], Analisis saringan untuk penentuan gradasi [10], Kadar lumpur dan penentuan kandungan zat organis [13] dan Berat volume agregat halus.
4. Pemeriksaa air yang dilakukan meliputi pemeriksaan dilakukan secara visual atau kasat mata. Air tidak bau dan jernih, tidak terdapat lumpur dan mengandung minyak agar tidak mempengaruhi kualitas beton.

5. Periksa serbuk kaca dengan cara penentuan ukuran lewat saringan serbuk kaca dengan 3 variasi ukuran serbuk kaca. Serbuk kaca digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada beton.
6. Periksa *Fly Ash*, meliputi pemeriksaan berat jenis *fly ash*. Pengecekan *fly ash* bisa dilihat dengan kasat mata. *Fly ash* yang baik memiliki ciri-ciri berwarna keabu-abuan dan berbutir halus.

Adapun hasil pemeriksaan material yang dilakukan disajikan pada Tabel 1. Pada pemeriksaan material dapat disimpulkan bahwa material memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

**Tabel 1.** Properti Material

Material	Propertis Material	
Semen	Tipe	1
	<i>Specific Gravity</i>	3,14
Agregat Halus	Gradasi	Zona III
	<i>Spesific Gravity</i>	2,604 gr/cm <sup>3</sup>
	Kadar Lumpur	0,96 %
	Penyerapan	3,30 %
	Kehalusan	2,05 %
	Kadar Air	0,66 %
	Berat Isi	1468 kg/m <sup>3</sup>
Agregat Kasar	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2,54 gr/cm <sup>3</sup>
Fly Ash	<i>Bulk Spesific SSD</i>	2,61 gr/cm <sup>3</sup>
	<i>Apparent Spesific</i>	2,72 gr/cm <sup>3</sup>
	Penyerapan	2,72 %
	Kehalusan	7,94 %
Fly Ash	<i>Spesific Gravity</i>	2,22 gr/cm <sup>3</sup>

**Perencanaan Campuran Beton**

Perencanaan komposisi beton mengacu pada standar nasional tentang pembuatan beton normal [14]. Mutu rencana beton rencana adalah 45 MPa dengan nilai slump rencana 30-60 mm. Ukuran maksimum batu pecah yang digunakan adalah 20 mm.

Pada penelitian sebelumnya telah dibahas tentang penggunaan limbah kaca untuk pembuatan *self-compacting concrete* [5]. Hasil pengujian menunjukkan kadar maksimum penggunaan substitusi parsial serbuk kaca yang dibutuhkan adalah 10%. Serbuk kaca digunakan sebagai pengisi dengan menggunakan persentase tambahan dari jumlah semen dan fly ash.

Pada *fly ash* persentase campuran menggunakan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Adapun penggunaan serbuk kaca sebagai bahan pengisi menggunakan variasi 5% dan 10% dari berat semen dan fly ash. Adapaun variasi penggunaan fly ash dan serbuk kaca pada tiap pengujian disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Variasi Penggunaan *Fly Ash* dan Serbuk Kaca

% Fly Ash	% Serbuk Kaca	Jumlah Sampel	Kode
0	5	3	1
0	10	3	2
5	5	3	3
5	10	3	4
10	5	3	5
10	10	3	6
15	5	3	7
15	10	3	8
20	5	3	9
20	10	3	10

Perencanaan campuran beton ini dilakukan untuk mendapatkan komposisi bahan-bahan penyusun beton tersebut. Data hasil perhitungan perencanaan kebutuhan material untuk pembuatan beton dapat dilihat pada Tabel 2. Dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan untuk 3 benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi silinder 30 cm dengan mutu rencana f'c 45 Mpa (K550).

**Tabel 2.** Komposisi Beton

Material	Jumlah untuk 1 m <sup>3</sup>	Jumlah 3 Silinder
Air	210	4
Semen	583,33	10,20
Ag. Halus	545,53	9,53
Ag Kasar	1013,13	17,66
Total	2352	41,12

*Fly ash* mensubstitusi semen dengan kadar *fly ash* maksimum 20% terhadap jumlah semen dan serbuk kaca digunakan sebagai pengisi dengan jumlah serbuk kaca maksimum 10% terhadap penggunaan semen dan *fly ash*. Total material yang dibutuhkan untuk membuat masing-masing 3 benda uji pada variasi penggunaan *fly ash* dan serbuk kaca disajikan pada Tabel 4 dibawah ini:

**Tabel 4.** Kebutuhan Material

Kode	Semen	<i>Fly Ash</i>	Serbuk Kaca
1	10,2	0	0,51
2	10,2	0	1,02
3	9,69	0,51	0,51
4	9,69	0,51	1,02
5	9,18	1,02	0,51
6	9,18	1,02	1,02
7	8,67	1,53	0,51

Kode	Semen	Fly Ash	Serbuk Kaca
8	8,67	1,53	1,02
9	8,16	2,04	0,51
10	8,16	2,04	1,02

### Pembuatan Beton

Langkah pembuatan beton yang pertama yaitu material pembuatan beton akan disiapkan berdasarkan jumlah yang telah ditentukan dari hasil perhitungan yang telah direncanakan sebelumnya. Batu pecah dan pasir diayak terlebih dahulu dengan menggunakan saringan.



Gambar 6. Bahan-bahan yang telah ditimbang

Pasir, agregat kasar, agregat halus, fly ash dan serbuk kaca dalam kondisi kering permukaan dicampurkan bersamaan kedalam molen mixer seperti pada Gambar 6. Penambahan air dilakukan secara bertahap sesuai jumlah air yang dibutuhkan. Untuk setiap variasi campuran dilakukan sebanyak satu kali pengadukan seperti Gambar 7 dan dilakukan pemeriksaan slump pada setiap campuran yang telah selesai diaduk.



Gambar 7. Proses Mixing

Pengujian nilai slump beton segar dilakukan untuk mengetahui konsistensi pada beton yang baru [15]. Pengujian nilai slump dilakukan dengan menggunakan kerucut abrams sebagai cetakan beton dan tilam pelat baja sebagai alas cetakan. seperti Gambar 8. Adukan beton dimasukkan secara bertahap kedalam kerucut, lalu diangkat secara perlahan sampai beton segar mengalami keruntuhan.



Gambar 8. Pengujian Slump

Nilai slump didapatkan dengan mengurangi tinggi kerucut abrams dengan tinggi beton segar yang telah diangkat dari kerucutnya. Dari hasil pemeriksaan slump test diperoleh nilai slump rata-rata tiap benda uji 4 cm. Pemeriksaan nilai slump pada masing- masing benda uji. Pemeriksaan nilai slump ini telah memenuhi standar [16].

Setelah pemeriksaan nilai slump, beton segar dimasukan ke dalam cetakan beton berbentuk silinder yang diolesi oli terlebih dahulu. Campuran beton dimasukan ke dalam cetakan dibagi ke dalam tiga tahap. Proses pencetakan beton ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pencetakan Beton

### Curing Beton

Pelaksanaan curing beton atau perawatan beton ini dilakukan ketika beton pada kondisi final setting yaitu ketika beton telah mengeras. Pelaksanaan perawatan beton bertujuan untuk kelembaban beton dan menghindari penguapan berlebih sehingga didapatkan mutu beton yang sesuai dengan rencana. Jika hal ini tidak dilakukan maka beton kehilangan air yang begitu cepat dan mengakibatkan beton mengalami keretakan.

Menurut peraturan ACI 318 mensyaratkan masa curing untuk beton dilakukan minimal sampai tercapai 70% kuat tekan beton yang direncanakan[17]. Sedangkan menurut ASTM C-150 mensyaratkan waktu curing untuk tipe semen yang berbeda-beda, yaitu [18] :

1. Untuk semen tipe I waktu perendaman beton minimal yang dibutuhkan adalah 7 hari
2. Untuk semen tipe II waktu perendaman beton minimal yang dibutuhkan adalah 10 hari

3. Untuk semen tipe III waktu perendaman beton minimal yang dibutuhkan adalah 3 hari
4. Untuk semen tipe IV waktu perendaman beton minimal yang dibutuhkan adalah 14 hari

**HASIL DAN DISKUSI**

**Pengujian Benda Uji**

Pengujian kuat tekan beton adalah parameter utama yang dapat dilakukan untuk mengetahui mutu beton dan memberikan gambaran tentang sifat dan kualitas dari beton. Beton merupakan material dengan nilai tegangan tekannya yang lebih besar dari pada tegangan tarik, sehingga dapat diasumsikan tegangan tekan dapat didukung oleh beton dengan baik. Beton dengan kinerja baik dapat disimpulkan dari nilai kuat tekan yang didapatkan dari uji tekan. Semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan, maka beton tersebut memiliki kualitas beton yang baik. Faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton adalah proporsi campuran, pengadukan pada saat pembuatan, pembuatan, pemadatan dan perawatan beton itu sendiri. Menentukan nilai kuat tekan beton yang berbentuk silinder dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

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

Di mana :

- fc' = kuat tekan silinder beton (MPa atau kg/cm<sup>2</sup>)
- P = beban maksimum sampai beton hancur (kg, N)
- A = luas penampang silinder (cm<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup>)

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan terhadap benda uji setelah beton berumur 28 hari. Pengujian dapat dilakukan setelah kondisi beton benar benar kering pada umur beton yang direncanakan. Sampel beton yang akan diuji akan ditimbang terlebih dahulu. Kemudian, dilakukan *capping* pada beton yang akan di uji. Pembuatan *capping* menggunakan bubuk belerang yang dicairkan pada wajan yang dipanaskan dan dicetak pada permukaan atas dan bawah silinder beton.

Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji kuat tekan yaitu *Compression Testing Machine* (CTM) dan prosedur pelaksanaannya sesuai dengan peraturan [19].

Hasil kuat tekan benda uji dilihat pada saat dial jarum menunjukkan nilai pada alat CTM seperti yang terlihat pada Gambar 10. Pada Tabel 5 disajikan data hasil pengujian yang telah dilakukan.

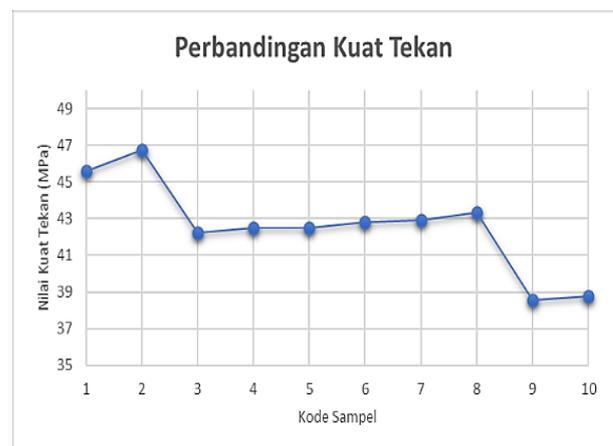


**Gambar 10 .** Pengujian dengan CTM

**Tabel 5.** Data Hasil Pengujian

Kode	Berat Rata-Rata	Kuat Tekan Rata-Rata	
		KN	MPa
A	12,02	805	45,58
B	12,06	826	46,77
C	12,12	746	42,24
D	12,18	751	42,52
E	12,18	751	42,52
F	12,02	756	42,80
G	12,12	758	42,92
H	12,02	765	43,31
I	12,18	681	38,56
J	12,06	685	38,78

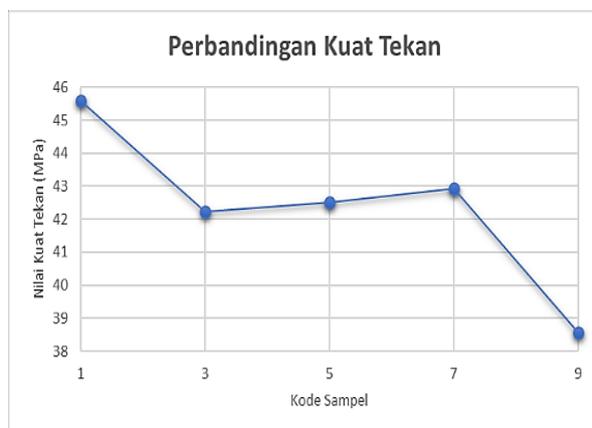
Pada Gambar 11 merupakan hasil tekan beton dengan 10 variasi. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa beton dengan *fly ash* 0% dan serbuk kaca 10% memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan beton dengan tambahan *fly ash*. Selain itu, dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya jumlah persentase serbuk kaca yang digunakan menunjukkan bahwa kuat tekan beton semakin bertambah juga.



**Gambar 11.** Uji Tekan Beton

Pada Gambar 12 dan Gambar 13 menjelaskan hubungan kuat tekan beton untuk masing masing variasi persentase penambahan serbuk kaca. Bentuk grafik pada variasi serbuk kaca 5% dan 10% memiliki pola yang sama. Penambahan *fly ash* mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan. Pada variasi *fly ash* 0% memiliki kuat tekan tertinggi baik pada saat campuran serbuk kaca 5% dan 10%. Namun kekuatan beton mengalami penurunan pada kondisi campuran ditambahkan *fly ash*.

Variasi *fly ash* 15% adalah kondisi optimum campuran beton dengan kuat tekan beton yaitu 43,31 Mpa. Pada saat variasi *fly ash* 20% terjadi penurunan kekuatan beton.



Gambar 12. Hasil Pengujian dengan Penambahan 5% Serbuk Kaca



Gambar 13. Hasil Pengujian dengan Penambahan 10% Serbuk Kaca

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil sifat bahan dan penyelidikan eksperimental pada beton yang dibuat dengan *fly ash* dan serbuk kaca. Kekuatan tekan beton dengan *fly ash* dan bubuk kaca yang dihasilkan lebih dari beton konvensional. Beton dengan *fly ash* 0% dan serbuk kaca 10% memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan beton dengan tambahan *fly ash*, yaitu 46,77%. Selain itu, dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya

jumlah persentase serbuk kaca yang digunakan menunjukkan bahwa kuat tekan beton semakin bertambah juga.

Penambahan *fly ash* mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan. Pada variasi *fly ash* 0% memiliki kuat tekan tertinggi baik pada saat campuran serbuk kaca 5% dan 10%. Namun kekuatan beton mengalami penurunan pada kondisi campuran ditambahkan *fly ash*. Variasi *fly ash* 15% adalah kondisi optimum campuran beton dengan kuat tekan beton yaitu 43,31 Mpa. Kedua limbah ini dapat dikombinasikan dengan variasi *fly ash* yang menggantikan penggunaan semen dan penambahan serbuk kaca sehingga dapat dimanfaatkan dengan baik dan digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi. *Fly ash* dan limbah kaca harus digunakan sehingga tidak hanya dibuang dan mencemari lingkungan.

## REFERENSI

- [1] M. Ervianto, F. Saleh, and H. Prayuda, "Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abut Terbang (Fly Ash) Dan Zat Adiktif (Bestmittel)," *Sinergi*, vol. 20, no. 3, p. 199, 2016, doi: 10.22441/sinergi.2016.3.005.
- [2] E. Luga and C. D. Atis, "Strength properties of slag/fly ash blends activated with sodium metasilicate and sodium hydroxide+silica fume," *Period. Polytech. Civ. Eng.*, vol. 60, no. 2, pp. 223–228, 2016, doi: 10.3311/PPci.8270.
- [3] Almufid, "Beton Mutu Tinggi dengan bahan Tambahan," *J. Fondasi*, vol. 4, no. 2, pp. 81–87, 2015.
- [4] A. S. Srie Gunarti, A. Suhartini, and A. Hasan, "Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton," *Bentang*, vol. 2, no. 1, p. 262529, 2014.
- [5] B. Herbudiman and ; Chandra Januar, "PEMANFAATAN SERBUK KACA SEBAGAI POWDER PADA SELF-COMPACTING CONCRETE," *Bandung*, no. November, pp. 17–18, 2011.
- [6] R. Mamangkey, "Kajian Laboratorium Sifat Fisik Agregat Yang Mempengaruhi Nilai Vma Pada Campuran Beraspal Panas Hrs-Wc," *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 3, pp. 196–201, 2013.
- [7] B. S. Nasional, "SNI 2531:2015 Metode uji densitas semen hidraulic (ASTM C 188-95 (2003), MOD)," *Bandung*, vol. 95, no. 2003, p. 14, 2015, [Online]. Available: [http://infoipk.bsn.go.id/index.php?/sni\\_main/sni/detail\\_sni/22224](http://infoipk.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/22224).
- [8] B. S. Nasional, "SNI 03-1971-1990: Metode pengujian kadar air agregat," *Bandung*, pp. 1–13, 1990.

- [9] B. S. Nasional, "Sni 03-1969-1990: Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Airagregat Kasar," *Bandung*, pp. 2-5, 1990.
- [10] B. S. Nasional, "Sni 03-1968-1990: Metode pengujian analisis saringan Agregat halus dan kasar," *Bandung*, pp. 1-5, 1990, [Online]. Available:  
<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/dr-slamet-widodo-st-mt/sni-03-1968-1990.pdf>.
- [11] B. S. Nasional, "SNI.03-4804-1998: Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat," *Bandung*, pp. 1-6, 1998.
- [12] B. S. Nasional, "SNI 03-1970-1990: Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus," *Bandung*, pp. 1-17, 1990.
- [13] B. S. Nasional, "SNI 2816 Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton," *Bandung*, p. 10, 2014, doi: 10.1109/CDC.2006.377159.
- [14] B. S. Nasional, "SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal," *Bandung*, pp. 1-34, 2000.
- [15] H. Mallisa, "Pengaruh Lamanya Pengadukan Terhadap Nilai Slump Dan Kandungan Udara Campuran Beton," *J. Smartek*, vol. 6, no. 2, pp. 80-87, 2008.
- [16] B. S. Nasional, "SNI 03-1972-2008v: Cara Uji Slump Beton," *Bandung*, 2008.
- [17] A. C. Institute, "ACI 308R-01 R08 Guide to Curing Concrete," *Am. Concr. Inst.*, p. 31, 2008.
- [18] A. S. for T. Materials, "ASTM C150 / C150M-19a Standard Specification for Portland Cement," *Annu. B. ASTM Stand.*, p. 10, 2019, doi: 10.1520/C0150\_C0150M-19A.
- [19] B. S. Nasional, "SNI 1974: 2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," *Bandung*, p. 20, 2011.