

ANALISIS VARIASI PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN LIMBAH PECAHAN KACA TERHADAP SIFAT MEKANIS *HIGH STRENGTH CONCRETE*

Mochamad Raffel Dhestyanto; Budi Setiawan

Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Abstrak

Beton mutu tinggi diartikan sebagai beton yang memiliki kerapatan tinggi, mencegah udara dan air masuk ke dalam campuran adukan beton, yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas mutu beton. Definisi beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan setidaknya 41,4 MPa (SNI 036468-2000). Dalam penelitian ini, digunakan material substitusi, yaitu *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen, dan limbah pecahan kaca sebagai pengganti sebagian pasir, dengan fokus pada pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi. Metode penelitian yang diterapkan adalah metode eksperimental dengan perencanaan campuran berdasarkan panduan *American Concrete Institute (ACI)*. Proporsi variasi *fly ash* digunakan sebesar 0%, 7,5%, dan 12,5%, sedangkan proporsi variasi limbah pecahan kaca adalah 0% dan 10%, dengan kuat tekan perencanaan 42 MPa. Benda uji silinder berukuran 15 cm x 30 cm digunakan untuk menguji kuat tekan dan modulus elastisitas pada umur 14 dan 28 hari, sementara benda uji silinder berukuran 10 cm x 20 cm digunakan untuk menguji absorpsi pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa substitusi *fly ash* dan pecahan kaca dapat meningkatkan nilai *slump*, dengan nilai tertinggi pada variasi *fly ash* 12,5% dan pecahan kaca 10% sebesar 92 mm. Substitusi ini juga dapat mengurangi penyerapan air sebesar 11,18% pada variasi *fly ash* 7,5% dan pecahan kaca 10%, serta 17,45% pada variasi *fly ash* 12,5% dan pecahan kaca 10%. Pada aspek kekuatan beton, substitusi *fly ash* dan pecahan kaca menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Hasil optimal ditemukan pada variasi *fly ash* 12,5% dan pecahan kaca 10%, dengan nilai kuat tekan 39,81 MPa pada 14 hari dan 46,98 MPa pada 28 hari, serta modulus elastisitas sebesar 30739 MPa pada 14 hari dan 34447 MPa pada 28 hari.

Kata kunci: Beton Mutu Tinggi, Fly Ash, Kuat Tekan, Limbah Kaca, Modulus Elastisitas.

Abstract

High quality concrete is defined as concrete that has a high density, preventing air and water from entering the concrete mix, which can result in a decrease in the quality of the concrete. The definition of high quality concrete is concrete that has a compressive strength of at least 41.4 MPa (SNI 036468-2000). In this research, substitute materials were used, namely fly ash as a partial replacement for cement, and broken glass waste as a partial replacement for sand, with a focus on testing compressive strength, modulus of elasticity and absorption. The research method applied is an experimental method with mix planning based on the American Concrete Institute (ACI) guidelines. The varying proportions of fly ash used are 0%, 7.5% and 12.5%, while the varying proportions of broken glass waste are 0% and 10%, with a design compressive strength of 42 MPa. Cylindrical specimens measuring 15 cm x 30 cm were used to test compressive strength and modulus of elasticity at the age of 14 and 28 days, while cylindrical specimens

measuring 10 cm x 20 cm were used to test absorption at the age of 28 days. The test results showed that fly ash substitution and glass fragments can increase the slump value, with the highest value in the fly ash variation of 12.5% and 10% glass fragments of 92 mm. This substitution can also reduce water absorption by 11.18% for the fly ash variation of 7.5% and 10% broken glass, and 17.45% for the variation of fly ash 12.5% and broken glass 10%. In terms of concrete strength, Substitution of fly ash and glass fragments showed an increase in compressive strength and elastic modulus values. Optimal results were found in variations of 12.5% fly ash and 10% broken glass, with compressive strength values of 39.81 MPa at 14 days and 46.98 MPa at 28 days, and elastic modulus of 30739 MPa at 14 days and 34447 MPa at 28 days.

Keywords: Compressive Strength, Fly Ash, Glass Waste, High Quality Concrete, Modulus of Elasticity.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan mutu dan efektivitas dalam proyek konstruksi saat ini membutuhkan kemajuan dalam bidang ilmu dan teknologi. Oleh karena itu, inovasi-inovasi terbaru yang dapat dikembangkan menjadi suatu keharusan. Selain itu, pentingnya kemudahan dalam pemilihan material konstruksi untuk meningkatkan efisiensi waktu dan kesederhanaan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Beton, sebagai salah satu komponen utama dalam pembangunan infrastruktur, menunjukkan keunggulannya terutama dalam kekuatan tekan yang luar biasa. Meski begitu, penggunaan beton tidak terlepas dari kekurangan, seperti pencemaran udara akibat emisi CO₂ yang tinggi selama proses produksi semen. Tantangan besar dihadapi oleh industri beton, di mana setiap ton semen yang diproduksi setara dengan emisi satu ton karbon dioksida (Patnaikuni & Setunge, 2013).

Dalam beberapa tahun terakhir, kesadaran akan dampak negatif limbah industri telah mendorong penggunaan material daur ulang dalam konstruksi. Penggunaan material yang tidak terpakai menjadi alternatif untuk memanfaatkan limbah dan mengurangi ketergantungan pada bahan utama penyusun beton. Contohnya, *fly ash*, residu halus dari pembakaran batu bara yang memiliki sifat *pozzolanik*, dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Sementara itu, limbah pecahan kaca yang dihancurkan menjadi serbuk kaca dapat menjadi alternatif pengganti sebagian agregat halus. Limbah pecahan kaca, yang biasanya hanya didaur ulang, memiliki kandungan silika yang tinggi, menjadikannya cocok untuk menggantikan sebagian agregat halus dalam material beton (Moh. Fadli & Walujoddjati, 2021). Penggunaan kaca dalam campuran beton bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tekan beton dan mengurangi dampak negatif limbah kaca terhadap lingkungan. Kaca memiliki ketahanan terhadap abrasi yang baik, tahan terhadap serangan cuaca dan zat kimia karena mengandung silika yang tinggi. Kaca yang tidak menyerap air juga meningkatkan durabilitas beton (Saintis,

2020). Dengan proporsi substitusi agregat halus yang tepat dengan limbah pecahan kaca, mutu beton yang dihasilkan dapat melebihi beton normal.

Mutu beton yang baik ditandai dengan kerapatan tinggi, mencegah udara dan air masuk ke campuran beton yang dapat menurunkan kapasitas struktural atau mutu yang diinginkan. Melalui perkembangan ilmu dan teknologi, inovasi terus dilakukan untuk menciptakan beton dengan kemampuan tekan yang tinggi, yang didefinisikan sebagai beton mutu tinggi dengan kuat tekan $\geq 41,4$ MPa (SNI 036468-2000). Beton mutu tinggi digunakan pada struktur bangunan kompleks seperti gedung bertingkat dan jembatan karena dapat menahan beban berat. Kelebihannya termasuk kemampuan tekan awal yang tinggi, memungkinkan penggunaan kolom yang lebih kecil, peningkatan ruang, dan daya tahan yang baik (Saintis, 2020).

Meskipun penelitian sebelumnya telah mengkaji peningkatan kualitas *high strength concrete* dengan substitusi *fly ash* atau limbah pecahan kaca, penelitian terkait durabilitas *high-strength concrete* dengan kombinasi *fly ash* dan limbah pecahan kaca masih perlu dikembangkan. Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian uji modulus elastisitas, kuat tekan, dan absorpsi pada *high strength concrete* dengan penggabungan *fly ash* dan limbah pecahan kaca. Penelitian ini mengikuti metode pembuatan campuran beton berdasarkan panduan ACI (*American Concrete Institute*).

2. METODE

Dalam penelitian ini, pendekatan yang diterapkan adalah metode eksperimental yang mengacu pada temuan-temuan penelitian sebelumnya.. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dan terdiri dari 5 tahapan, yaitu persiapan alat dan bahan, pemeriksaan kelayakan material, perencanaan campuran dan pembuatan benda uji, pengujian benda uji, dan analisis hasil beserta pembahasannya. Bahan material yang digunakan adalah semen, *fly ash*, pasir, pecahan kaca, kerikil, dan *superplasticizer*. Tahap persiapan alat dan bahan mencakup segala kebutuhan eksperimental, sementara tahap pemeriksaan kelayakan material dilakukan untuk memastikan kualitas dan kesesuaian material yang digunakan.

Perencanaan campuran dan pembuatan benda uji melibatkan penentuan proporsi bahan untuk mencapai target kuat tekan yang diinginkan. Tahap pengujian mekanis mencakup serangkaian uji, seperti kuat tekan, modulus elastisitas, dan penyerapan air, yang dilakukan sesuai dengan standar pengujian beton. Analisis hasil dan pembahasan dilakukan untuk menginterpretasikan data dan menyimpulkan temuan penelitian. Dengan demikian, pendekatan

eksperimental ini memberikan landasan yang kokoh untuk menggali informasi lebih lanjut tentang penggunaan *fly ash* dan pecahan kaca dalam campuran beton.

Pemeriksaan kelayakan material dilakukan untuk mengetahui kualitas material yang digunakan dalam campuran beton. Pada semen dan *fly ash* dilakukan pengujian kehalusan, dan ikatan awal semen, pada pasir dilakukan pengujian kandungan bahan organik, *saturated surface dry*, berat jenis, kandungan lumpur, dan analisis saringan, pada kerikil dilakukan pengujian keausan, berat jenis, dan Analisis saringan, serta untuk pecahan kaca dilakukan pengujian analisis saringan dicampur dengan pasir.

Setelah dilakukan pemeriksaan kelayakan material, dilakukan perencanaan campuran dan pembuatan benda uji menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI), sesuai dengan variasi substitusi yang digunakan yaitu *fly ash* 0%, 7,5%, 12,5%, variasi kaca digunakan 0%, 10%, serta bahan tambah *superplasticizer* 0,75%. Proporsi campuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi (kg/m³)

Benda Uji	Semen (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)	Kaca (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (ml)	SP (ml)
HSC	22,34	0,00	0,00	21,90	43,61	6700,00	167,50
HSCFA1KC	20,66	1,68	2,19	19,71	43,61	6700,00	167,50
HSCFA2KC	19,54	2,79	2,19	19,71	43,61	6700,00	167,50

Pada tahap pembuatan benda uji, sejumlah 18 silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm digunakan menguji kuat tekan dan modulus elastisitas, sementara 3 silinder dengan ukuran 10 cm x 20 cm digunakan untuk pengujian absorpsi. Sebelumnya, pada adukan beton segar, dilakukan slump test untuk mengevaluasi *workability* dengan target penurunan sebesar 75 – 150 mm. Setelah itu, campuran beton segar dimasukkan ke dalam bekisting. Setelah 24 jam, dilakukan pelepasan bekisting, dan selanjutnya dilakukan proses curing sesuai dengan perencanaan umur beton, yaitu pada 14 dan 28 hari.

Pada tahap selanjutnya, dilakukan pengujian benda uji menggunakan *Compressing Testing Machine* (CTM). Alat ini berfungsi untuk menekan benda uji sampai mencapai kuat tekan maksimum yang dapat diukur. Proses ini merupakan langkah kritis dalam mengukur performa beton terhadap tekanan dan menentukan sifat mekanisnya, seperti kuat tekan dan modulus elastisitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Ikatan Awal Semen

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *vicad apparatus*. Material yang digunakan dalam pengujian menggunakan variasi *fly ash* sebesar 0%, 7,5%, dan 12,5%. Hasil pengujian ikatan awal semen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Ikatan Awal Semen

Jenis Sampel	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Semen 100%	64 menit	60 - 480 menit	Memenuhi
Semen 92,5% + Fly Ash 7,5%	69 menit	60 - 480 menit	Memenuhi
Semen 87,5% + Fly Ash 12,5%	75 menit	60 - 480 menit	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian diatas, dapat dilihat hasil tersebut menunjukkan bahwa substitusi *fly ash* memperlambat waktu ikat awal semen yang terjadi. Hal tersebut terjadi karena *fly ash* memiliki sifat *pozzolan* sehingga memiliki reaktivitas yang berbeda dengan semen. Terdapat juga senyawa pada semen yang bereaksi dengan air, kemudian hasil reaksi tersebut akan bereaksi kembali dengan unsur lain yang terdapat pada *fly ash* yang mengakibatkan rantai reaksi pada saat proses hidrasi semakin panjang, sehingga akan menambah waktu pengikatan pada campuran (Sebayang, 2010).

3.2 Slump Test

Slump test dilakukan untuk mengetahui *workability* dan homogenitas dari campuran beton segar yang dibuat. Pada penelitian ini direncanakan *slump test* berdasarkan spesifikasi persyaratan kardiyono tjokrodimuljo (2007), dalam penggunaan pelat, balok, kolom, dan dinding, yaitu 75 mm – 150 mm. Penggunaan variasi substitusi yang digunakan ditandai dengan penamaan benda uji, yaitu HSC adalah 0% *fly ash*, 0% kaca, kemudian HSCFA1KC adalah 7,5% *fly ash*, 10% kaca, selanjutnya adalah HSCFA2KC adalah 12,5% *fly ash*, kaca 10%. Pengujian *slump test* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian *Slump Test*

Benda Uji	Penurunan 1 (mm)	Penurunan 2 (mm)	Penurunan 3 (mm)	Rata-rata (mm)
HSC	80	78	80	79
HSCFA1KC	83	80	83	82
HSCFA2KC	93	90	93	92

Berdasarkan hasil pengujian diatas, dapat dilihat bahwa penggunaan substitusi *fly ash* dan juga pecahan kaca dalam campuran beton akan meningkatkan *workability*, sehingga meningkatkan kemudahan dalam penempatan kedalam bekisting. Peningkatan nilai *slump test* pada adukan

beton juga dipengaruhi oleh bentuk butiran halus sehingga memungkinkan terjadi pengurangan gesekan yang menyebabkan pasta beton mengalir mudah (Nkomo dkk., 2019).

3.3 Pengujian Berat Isi Beton

Pengujian berat isi beton dilakukan pada sampel benda uji silinder diameter 15 cm, dan tinggi 30 cm pada umur beton sesuai perencanaan yaitu 14, dan 28 hari sebelum dilakukannya pengujian kuat tekan. Hasil pengujian berat isi beton dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Berat Isi beton

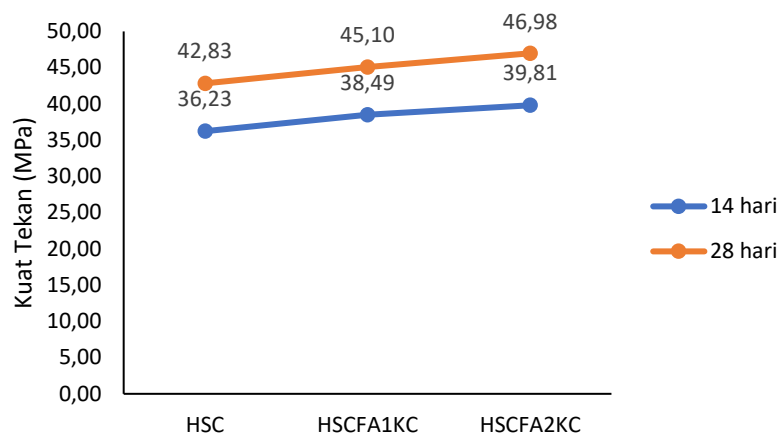
Nama Sampel	Umur (hari)	Sampel 1 (kg)	Sampel 2 (kg)	Sampel 3 (kg)	Rata-Rata (kg)	Berat Isi Beton (kg/m ³)
HSCFA1KC	14	12,255	12,270	12,035	12,187	2299,914
	28	12,180	12,295	12,185	12,220	2306,204
HSCFA2KC	14	12,190	12,125	12,110	12,142	2291,421
	28	12,090	12,135	12,215	12,147	2292,365
HSC	14	12,240	12,200	12,285	12,242	2310,293
	28	12,280	12,290	12,265	12,278	2317,213

Berdasarkan hasil pengujian diatas, terlihat bahwa berat isi beton tertinggi terjadi pada benda uji HSC, sementara yang terendah pada benda uji HSCFA2KC. Perbedaan ini disebabkan oleh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen pada campuran beton HSCFA2KC, yang menyebabkan berat isi beton menjadi lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa substitusi *fly ash*. Hal ini dikarenakan *fly ash* memiliki berat jenis yang lebih rendah, berkisar antara 2,15-2,18 gr/cm³, dibandingkan dengan berat jenis semen yang mencapai 3,15 gr/cm³ (Setiawati, 2018). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar penggunaan substitusi *fly ash* dalam campuran beton, berat isi beton cenderung semakin rendah.

Selain penggunaan substitusi *fly ash*, penelitian ini juga memanfaatkan campuran pecahan kaca dengan kadar 10% sebagai substitusi pasir, yang telah diubah menjadi bentuk serbuk setelah melewati saringan no.4. Penggunaan serbuk pecahan kaca ini menyebabkan berat isi beton menjadi lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh berat jenis serbuk kaca yang lebih ringan dibandingkan dengan berat jenis pasir, sesuai dengan temuan dalam penelitian lain (Kusuma dkk., 2020). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan pecahan kaca dapat secara signifikan menurunkan berat isi beton.

3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan yang dilakukan menggunakan sampel benda uji dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, pada umur beton 14, dan 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta menggunakan alat uji *compression testing machine*. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 1.



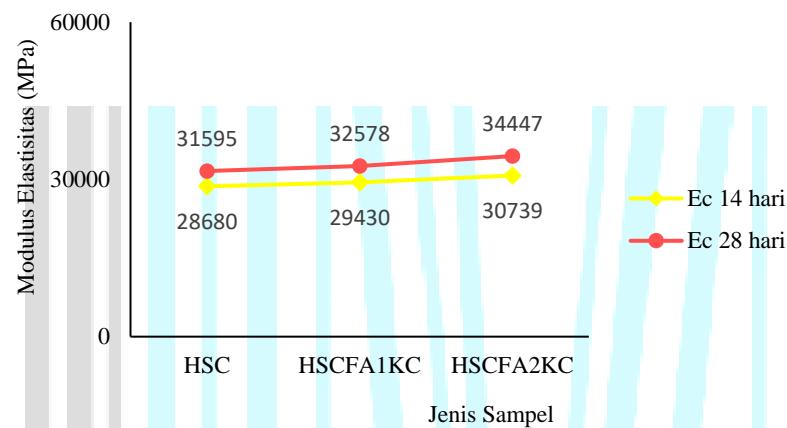
Gambar 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil pengujian diatas, benda uji menunjukkan variasi nilai kuat tekan, dan untuk analisis penelitian ini, digunakan data rata-rata kuat tekan dari tiga sampel benda uji yang berbeda. Benda uji HSC menunjukkan kuat tekan rata-rata sebesar 36,23 MPa pada umur 14 hari, meningkat sebanyak 18,23% pada umur 28 hari, mencapai kuat tekan rata-rata sebesar 42,83 MPa. Benda uji HSCFA1KC, dengan campuran substitusi 7,5% *fly ash* terhadap semen dan 10% kaca terhadap agregat halus, menunjukkan kuat tekan rata-rata sebesar 38,49 MPa pada umur 14 hari, meningkat sebanyak 18,01% pada umur 28 hari, mencapai kuat tekan rata-rata sebesar 45,10 MPa. Benda uji HSCFA2KC, dengan campuran substitusi 12,5% *fly ash* terhadap semen dan 10% kaca terhadap agregat halus, menunjukkan kuat tekan rata-rata sebesar 39,81 MPa pada umur 14 hari, meningkat sebanyak 18,23% pada umur 28 hari, mencapai kuat tekan rata-rata sebesar 46,98 MPa. Kuat tekan terendah pada umur beton 28 hari terdapat pada benda uji HSC tanpa substitusi, sementara kuat tekan tertinggi pada umur beton 28 hari terdapat pada benda uji HSCFA2KC dengan substitusi 12,5% *fly ash* dan 10% kaca.

Hasil ini sesuai dengan ekspektasi dan rencana, menunjukkan bahwa kombinasi *fly ash* dan pecahan kaca dapat meningkatkan kuat tekan beton mutu tinggi dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa campuran apapun. Perilaku ini dapat dijelaskan oleh sifat *pozzolan fly ash* yang secara bertahap meningkatkan kuat tekan beton dalam jangka panjang, seperti yang telah ditemukan dalam penelitian sebelumnya (Damma dkk., 2021). Pemakaian pecahan kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus juga terbukti efektif dalam meningkatkan kuat tekan beton, karena kandungan silika yang tinggi dalam kaca dapat menggantikan sebagian agregat halus dan meningkatkan kuat tekan beton (Moh. Fadli dkk., 2021). Pemakaian kaca sebagai filler dalam beton juga dapat mengurangi resapan air dan meningkatkan durabilitas beton (Saintis, 2020). Optimalitas campuran pecahan kaca terjadi pada 10%, sesuai dengan temuan dalam penelitian sebelumnya (Ananda Welas, 2018).

3.5 Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan dengan menggunakan sampel benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada periode umur beton selama 14 dan 28 hari. Proses ini dilakukan secara simultan dengan pengujian kuat tekan beton dengan penambahan dial gauge, yang kemudian dibaca setiap kali terjadi penurunan sebesar 0,1 mm pada dial gauge. Seluruh pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta menggunakan perangkat uji compression testing machine. Gambar 2 menunjukkan hasil dari pengujian modulus elastisitas beton.



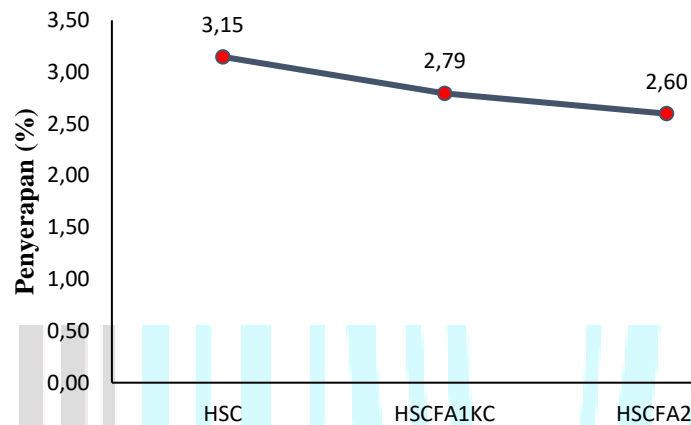
Gambar 2. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian diatas, sampel yang mempunyai nilai modulus elastisitas terendah adalah HSC sebesar 28680 MPa pada umur 14 hari, kemudian terjadi kenaikan 10,16% menjadi 31595 MPa pada umur 28 hari, dimana tidak adanya campuran apapun dalam beton tersebut. Sampel yang mengandung campuran *fly ash*, dan pecahan kaca cenderung memiliki nilai modulus elastisitas yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa campuran apapun, sampel HSCFA1KC memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 29430 MPa pada umur 14 hari, terjadi kenaikan 10,70% menjadi 32578 MPa pada umur 28 hari. Nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada sampel HSCFA2KC sebesar 30739 MPa pada umur 14 hari, terjadi kenaikan 12,06% menjadi 34447 MPa pada umur 28 hari.

Seperti yang diharapkan, bahwa penambahan kadar *fly ash* yang semakin banyak, akan menyebabkan bertambah juga nilai modulus elastisitas dari beton yang digunakan, dikarenakan *fly ash* memiliki sifat *pozzolan* sehingga menjadikan beton mempunyai nilai deformasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton tanpa menggunakan *fly ash*. Kaca juga berperan penting pada pengujian modulus elastisitas, karena beton dengan variasi kaca telah mengalami kenaikan dibandingkan beton normal tanpa variasi (Daniel Marthin, 2020).

3.6 Pengujian Absorpsi (Penyerapan)

Pengujian absorpsi dilakukan menggunakan benda uji silinder diameter 10 cm, dan tinggi 20 cm pada umur beton 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hasil pengujian absorpsi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengujian Absorpsi

Berdasarkan data hasil pengujian diatas, didapatkan hasil pengujian absorpsi tertinggi terjadi pada benda uji HSC sebesar 3,15% pada Gambar 3. Absorpsi pada benda uji HSCFA1KC dan HSCFA2KC mengalami penurunan dari benda uji HSC.

Benda uji HSCFA1KC didapatkan nilai penyerapan sebesar 2,79%, dan mengalami penurunan penyerapan air sebesar 11,18% dari benda uji HSC dengan penyerapan sebesar 3,15%. Benda uji HSCFA2KC didapatkan nilai penyerapan 2,60%, dan mengalami penurunan penyerapan air sebesar 17,45% dari benda uji HSC dengan penyerapan sebesar 3,15%.

Seperti yang sudah diharapkan, penggunaan *fly ash* pada campuran beton menyebabkan beton memiliki daya resapan yang rendah pada air, dikarenakan *fly ash* menjadi *filler* pada pori-pori permukaan beton. Beton yang mengandung material kaca cenderung memiliki penyerapan terhadap air yang rendah, karena material kaca yang tidak menyerap air dan kaca yang memiliki kandungan silika tinggi, sehingga akan mengurangi resapan air pada beton dan menjadikan beton mempunyai durabilitas yang tinggi (Saintis, 2020).

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Pemanfaatan *fly ash* mengakibatkan peningkatan pada pengikatan awal semen, dan semakin tinggi konsentrasi *fly ash* yang digunakan, semakin berlangsung lama waktu yang dibutuhkan.

2. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah pecahan kaca pada campuran adukan beton akan meningkatkan nilai *slump test*, sehingga meningkatkan *workability high strength concrete*.
3. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah pecahan kaca akan sedikit mengurangi berat isi beton, dikarenakan berat jenis pada *fly ash* dan pecahan kaca lebih rendah, jika dibandingkan berat jenis semen dan pasir.
4. Menggantikan *fly ash* dan limbah pecahan kaca dalam pencampuran menghasilkan beton mutu tinggi dengan nilai kuat tekan yang lebih unggul, jika dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa adanya penggantian bahan.
5. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah pecahan kaca menghasilkan high strength concrete dengan nilai modulus elastisitas lebih tinggi, jika dibandingkan dengan *high strength concrete* tanpa substitusi apapun.
6. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah pecahan kaca dapat menurunkan nilai absorpsi paling rendah sebesar 17,4%, jika dibandingkan dengan *high strength concrete* tanpa substitusi apapun, dikarenakan *fly ash* dan pecahan kaca menjadi *filler* atau bahan pengisi dalam campuran beton.

4.2 Saran

Penelitian ini tentunya masih banyak yang harus dikaji lebih lanjut, agar kedepannya bisa dikembangkan lebih luas. Untuk itu, pada penelitian ini terdapat saran untuk selanjutnya dapat diperbaiki dan dikembangkan lebih baik lagi.

1. Penggunaan substitusi limbah pecahan kaca yang digunakan harus memenuhi spesifikasi ukuran yang telah ditentukan, yaitu lolos saringan no.4 (4,75 mm), atau setara dengan spesifikasi yang digunakan untuk pasir.
2. Penggunaan substitusi *fly ash* dengan kelas yang berbeda perlu dilakukan, karena untuk mengetahui pengaruh perbedaan manfaatnya.
3. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan substitusi *fly ash* dan limbah pecahan kaca perlu dilakukan penambahan umur, agar diketahui apa yang terjadi selanjutnya pada campuran beton tersebut.
4. Selalu cek kalibrasi alat yang digunakan, terutama *dial gauge* yang terdapat pada seperangkat alat pengujian modulus elastisitas, sehingga mendapatkan hasil yang valid.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan bantuan yang sangat berarti dalam menjalankan seluruh proses penelitian, mulai dari awal hingga penelitian berhasil diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- 59, P. W. (2022). Standar Harga Barang Satuan dan Kontruksi Tahun Anggaran 2023.
- Ade Firmansyah, d. (2022). Pengaruh Penambahan Abu Vulkanik Gunung Semeru sebagai Bahan *Additive* terhadap Kuat Tekan, dan Modulus Elastisitas Beton.
- Aldian Septiadi, d. (2022). Pemakaian Limbah Botol Kaca Terhadap Kuat Tekan, dan Modulus Elastisitas Beton.
- Aldian Septiadi, d. (2022). Pemakaian Limbah Botol Kaca Terhadap Kuat Tekan, dan Modulus Elastisitas Beton.
- Ananda Welas, d. (2018). Pengaruh Serbuk Kaca sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus pada Beton Mutu Tinggi.
- Ayu Suhartini, d. (2014). Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus terhadap Kuat Tekan, dan Kuat Lentur Beton.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI-03-6827-2002. Metode Pengujian Waktu Ikut Awal Semen *Portland* dengan Menggunakan Alat *Vicat* untuk Pekerjaan Sipil.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974-2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder .
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (1991). SNI 15-2530-1991. Metode Pengujian Kehalusan Semen Portland.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2000). SNI 03-6468-2000. Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen *Portland* dengan Abu Terbang.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2000). SNI-03-6433-2000. Pengujian Resapan Air.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2014). SNI 2460-2014. Spesifikasi Abu Terbang Batubara, dan *Pozzolan* Alam Mentah .
- Bil Johan Soentpiet, d. (2018). Modulus Elastisitas Beton *Geopolymer* Berbasis *Fly Ash* dari PLTU Amurang.
- Gharizal. (2022). Analisis Pengaruh Penambahan Limbah *Fly ash* pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, dan Absorpsi pada Buis Beton.
- Istianto, M. M. (2010). Kajian Kuat Desak, dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Tambah Metakaolin, dan Serat Aluminium.
- Kardiyono Tjokrodinuljo. (2007). Standar Penentuan Waktu Pengujian Ikatan Awal Semen. Teknologi Beton.
- Martha Manganta, d. (2017). Pengaruh Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi.
- Marthin, D. (2020). Beton Mutu Tinggi dengan Substitusi *Fly Ash* pada Semen, dan *Superplasticizer* sebagai *Admixture* dan Fas 0,36 s/d 0,40.
- Mohamad Fadli, d. (2021). Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* sebagai Substitusi Semen, dan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton.
- Nuruddin, I. (2022). Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca pada Campuran Beton Mutu Tinggi.
- Patnaikuni. (2013). *High Strength High Volume Fly Ash Concrete*.
- Prana, R. (2020). Beton Mutu Tinggi dengan Substitusi *Fly Ash* pada Semen, dan *Superplasticizer* sebagai *Admixture* dan Fas 0,42 s/d 0,46.
- Rahmat Muhlis, d. (2020). Kuat Tekan Beton untuk Mutu Tinggi 45 MPA dengan *Fly Ash* sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen.

- Sahrul Ramadan, d. (2019). Pengaruh Serbuk Kaca sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen terhadap Sifat Fisik, dan Mekanik Beton.
- Seska, d. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Kaca terhadap Perilaku Mekanis Beton.
- Setiawati, M. (2018). *Fly Ash* sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton.
- Siska A, d. (2020). Saintis. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan Fly Ash, dan Bubuk Kaca sebagai Bahan Pengisi.
- Sri Umiati, d. (2019). Pengaruh Penambahan *Superplasticizer* terhadap Kuat Tekan Beton.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). Standar Pembuatan *Mix Design Metode American Concrete Institute (ACI)*. Teknologi Beton.

