

Pengaruh Penggunaan *Silica fume* Terhadap Sifat Mekanis Beton Mutu Tinggi *High Volume Fly Ash* (HVFA)

Effect of Use Silica fume on Mechanical Properties of High Strength Concrete High Volume Fly Ash (HVFA)

Mochamad Solikin^{1*}, Ayu Ariska²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil,

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani No. 157 Pabelan Kartasura Sukoharjo 57169 Indonesia

*Corresponding author: msolikin@ums.ac.id

ABSTRAK

DOI:
[10.30595/jrst.v7i2.16582](https://doi.org/10.30595/jrst.v7i2.16582)

Histori Artikel:

Diajukan:
18/01/2023

Diterima:
02/04/2023

Diterbitkan:
15/09/2023

High Volume Fly Ash (HVFA) merupakan inovasi beton dengan menggunakan *Fly ash* dengan volume tinggi minimal 50% sebagai pengganti semen. Beton HVFA mempunyai perkembangan kuat tekan yang lambat namun penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan *silica fume* dapat mempercepat pengerasan pada beton. Makalah ini membahas hasil studi eksperimental pengaruh penambahan *silica fume* sebanyak 10% terhadap sifat mekanis beton *High Strength - High Volume Fly Ash* yang ditinjau dari perkembangan nilai kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Selain pengujian perkembangan kuat tekan dilakukan pengujian durabilitas beton berupa pengujian absorpsi dan pengujian penetrasi ion klorida pada umur 28 hari. Kuat tekan diuji menggunakan benda uji silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan dalam pengujian absorpsi dan penetrasi ion klorida menggunakan benda uji dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 5 cm. Pengujian perkembangan kuat tekan beton menunjukkan, beton HVFA dan beton HVFA-HS memiliki perkembangan kuat tekan yang lebih lambat dibandingkan perkembangan kuat tekan beton normal pada umur 7 dan 14 hari, namun memiliki kuat tekan yang lebih tinggi pada umur 28 hari. Selanjutnya hasil uji absorpsi memiliki hasil yang sejalan dengan hasil uji penetrasi ion klorida, dimana pemakaian *silica fume* pada beton HVFA menghasilkan nilai absorpsi terendah dan menghasilkan tingkat penetrasi ion klorida terendah jika dibandingkan dengan beton HVFA dan beton normal.

Kata Kunci: *High Volume Fly Ash, High Strength, Silica Fume, Kuat Tekan, Absorpsi, Penetrasi Ion Klorida*

ABSTRACT

High Volume Fly Ash (HVFA) is a concrete innovation using Fly ash with a high volume of more than 50%. HVFA concrete has a slow development of compressive strength but has been proven to produce high-quality concrete if the addition of silica fume is innovative because silica fume can accelerate the hardening of the concrete. This paper discusses the effect of 10% silica fume addition on the mechanical properties of High Strength-High Volume Fly Ash- concrete in terms of compressive strength values at 7, 14, and 28 days, absorption, and chloride ion penetration at 28 days. In testing the compressive strength using a cylindrical specimen with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, while in testing the absorption and penetration of chloride ions using a specimen with a diameter of 10 cm and a height of 5 cm. With the addition of silica fume in HVFA concrete, compressive strength development is faster but slower than normal concrete at the age of 7 and 14 days. However, at 28 days, it can achieve higher compressive strength. In addition, the results of the absorption test are in line with the rapid chloride penetration test result, in which the utilization of silica

fume to produce High volume fly ash concrete gives the smallest absorption result and gives the lowest level of penetration criteria in comparison to HVFA concrete and normal concrete.

Keywords: High Volume Fly Ash, High Strength, Silica Fume, Compressive Strength, Absorption, Chloride Ion Penetration

1. PENDAHULUAN

Pembangunan berkelanjutan merupakan kebutuhan dan aspirasi manusia baik untuk saat ini maupun generasi selanjutnya (Absori, 2006). Dalam rangka mendukung terwujudnya pembangunan berkelanjutan diperlukan pengendalian terhadap bahan-bahan yang memproduksi emisi karbondioksida sebagai bahan utama penyebab timbulnya pemanasan global. Penggunaan beton sebagai bahan utama konstruksi saat ini memerlukan semen sebagai bahan pengikat dimana proses produksi semen melepaskan sejumlah besar emisi karbondioksida ke atmosfer. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk mengurangnya dengan menggunakan bahan pengikat alternatif sebagai pengganti semen tanpa mengurangi fungsinya sebagai bahan pengikat (Malhotra, 1999).

Bahan alternatif untuk meminimalisir penggunaan semen tanpa mengurangi fungsinya sebagai bahan pengikat adalah *fly ash* dan *silica fume*. *Fly ash* atau abu terbang merupakan limbah hasil pembakaran serbuk batu bara yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat pozzolanik, diambil dari tungku pembangkit listrik tenaga uap yang terbawa gas buang cerobong asap (Nuraini dkk., 2019). Pada beton fungsi *fly ash* hampir sama dengan semen adanya *fly ash* dalam beton untuk mengurangi jumlah penggunaan semen dan dengan bentuk *fly ash* yang sangat halus membuat beton menjadi rapat karena partikel halus *fly ash* dapat mengisi pori-pori beton. *Fly ash* juga memiliki sifat mengurangi pemakaian air dimana telah terbukti bahwa pemakaian *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen dapat mengurangi penggunaan air pada campuran beton sehingga memungkinkan dihasilkan beton dengan mutu tinggi (Ervianto dkk., 2016). *Fly ash* digolongkan menjadi tiga kelas berdasarkan kandungan kimia yang ada pada *fly ash* tersebut yaitu kelas F, *fly ash* kelas C, dan *fly ash* kelas N (SNI 2460, 2014). Kelas atau golongan *fly ash* didasarkan pada jumlah kandungan kimia di dalamnya ditentukan oleh kandungan kimianya terutama jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Selain itu jenis batu bara yang dibakar akan menghasilkan kelas *fly ash* yang berbeda, misalnya pembakaran batu bara jenis *lignite* dan *sub bituminous* akan menghasilkan *fly ash* kelas C (Suprpto, 2009).

Penggunaan bahan tambah *fly ash* memungkinkan untuk digunakan dalam

kandungan tinggi mencapai lebih dari 50% pada beton dapat menyebabkan kekuatan rendah dan waktu ikatan awal semen sangat lama (Malhotra & Mehta, 2005; Pratiwi et al., 2020) namun dengan adanya pozzolan dan silika amorf pada *fly ash* dapat memperbaiki *workability* dan durabilitas beton (Yan dkk., 2012). Lambatnya proses reaksi pozzolan dalam *fly ash* menjadikan kekuatan awal beton *fly ash* memiliki kekuatan yang rendah, namun akan mencapai kekuatan maksimalnya pada umur yang lebih lama (Rashad, 2015; Solikin, 2016). Untuk mengatasi lambatnya reaksi pozzolan dalam *fly ash* diperlukannya bahan tambah dan metode untuk mempercepat proses pengerasan sehingga kekuatan awal beton tidak berkurang secara signifikan. Salah satu bahan tambah yang digunakan adalah *silica fume* (Dey, 2016).

Silica fume merupakan material pozzolan yang halus yang banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silikon yang dikenal sebagai gabungan antara microsilica dengan *silica fume* (ASTM-C1240-20). Penambahan *silica fume* dianggap efektif untuk pengganti semen karena memiliki kandungan silika amorf dan memiliki ukuran partikel yang sangat halus sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis beton dan dapat memperbaiki durabilitas dan *workability* beton dengan kandungan *fly ash* tinggi (Khan & Siddique, 2011). Penelitian sebelumnya menunjukkan, bahwa pemakaian *fly ash*, *steel slag*, dan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton (Ujianto dkk., 2018).

Adanya bahan tambah *fly ash* dan *silica fume* dan campuran admixture untuk mengurangi jumlah penggunaan air mampu menghasilkan beton dengan mutu tinggi dengan nilai faktor air semen rendah. Tergolong sebagai beton mutu tinggi apabila beton mempunyai kuat tekan diatas 40 MPa dan dibawah 80 MPa. Tergolong kedalam beton *high performance concrete* (HPC) jika kuat tekan > 80 MPa. Selain mempertimbangkan penggunaan bahan tambah, untuk membuat beton mutu tinggi beton mutu tinggi perlu perlakuan khusus dalam proses pembuatannya (Ervianto dkk., 2016).

Beton sebagai material utama konstruksi dituntut memiliki sifat mekanis yang baik, selain memiliki kuat tekan tinggi juga harus memiliki *workability* dan durabilitas yang baik. *Workability* pada beton sangat dipengaruhi oleh

jumlah air yang digunakan (fas), dimana jumlah air yang sedikit cenderung menghasilkan beton dengan kinerja rendah (Asroni, 2016). Sedangkan *durability* yang baik adalah beton yang memiliki kekuatan dan daya tahan yang baik di lingkungan agresif. Salah satu bentuk durabilitas beton adalah ketahanan terhadap penetrasi ion klorida dan nilai serapan air atau absorpsi beton. *Fly ash* dan *silica fume* yang berbentuk partikel lembut dapat memperkecil atau bahkan bisa menutup pori – pori beton (Veda dkk., 2019). Beton dengan kandungan *fly ash* tinggi mampu mengurangi penyerapan air disebabkan karena pori – porinya yang rapat karena tertutup oleh struktur *fly ash* yang berukuran mikro dan interkoneksi pori yang padat, dengan adanya tambahan *silica fume* yang berukuran sangat lembut maka pori – pori beton menjadi sangat rapat sehingga penyerapan air yang terjadi sangat kecil.

Kecilnya pori – pori pada beton mutu tinggi dengan pemakaian *fly ash* dan *silica fume* juga dapat menghambat difusi ion klorida yang masuk ke dalam beton. Adanya kandungan silika amorf yang tinggi pada *fly ash* dan *silica fume* dapat memperbaiki pori beton karena reaksi pozzolanya bersamaan dengan hidrasi semen sehingga durabilitas beton pada pengujian penetrasi ion klorida akan baik. Seiring bertambahnya kandungan silika terjadi pengurangan yang signifikan dalam difusi ion klorida (Khan & Siddique, 2011).

Penelitian mengenai pemakaian *fly ash* dan *silica fume* sudah banyak dilakukan namun penelitian mengenai perkembangan kuat tekan beton dengan mutu tinggi dan durabilitasnya terutama ketahanan terhadap penetrasi ion klorida masih perlu dikembangkan. Berdasarkan uraian di atas, maka makalah ini ditulis untuk

menjelaskan hasil penelitian mengenai pengaruh pemakaian *silica fume* terhadap perkembangan kuat tekan beton *High Volume Fly Ash* mutu tinggi, nilai absorpsi beton, dan tingkat durabilitas beton menggunakan metode *Rapid Chloride Penetration Test* (RCPT).

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan lokasi pengujian berada di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Serangkaian pengujian akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *silica fume* terhadap sifat mekanis beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) mutu tinggi dimana metode yang digunakan untuk rancangan campurannya adalah SNI 03-6468-2000. Pelaksanaan penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yaitu dimulai tahap persiapan alat dan material, dilanjutkan tahap pemeriksaan material, kemudian tahap perancangan campuran dan pembuatan benda uji beton, selanjutnya tahap pengujian benda uji, dan tahap akhir berupa analisis dan pembahasan,

Bahan – bahan yang digunakan dalam pengujian ini berasal dari PT. Solusi Bangun Beton yang berada di Yogyakarta berupa agregat halus, semen OPC, *silica fume*, dan *fly ash*, sedangkan untuk agregat kasar berasal dari PT. Panca Dharma Beton yang berada di Surakarta dan *fly ash* berasal dari PLTU Tanjung Jati yang berada di Jepara. Dalam rangka menentukan jenis *fly ash* yang digunakan dilakukan pengujian yang dilakukan di Balai Konservasi Borobudur Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang berada di Magelang. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Fly ash* PT Panca Dharma

Parameter Uji	Metode Uji	Hasil Uji
% berat SiO ₂		44,71 %
% berat Al ₂ O ₃	X-Ray	20,34 %
% berat Fe ₂ O ₃	Fluorescene	12,37 %
% berat CaO		5,42 %

Tabel 2. Hasil Perhitungan Perencanaan Campuran Beton

No	Jenis Sample	f _c	SP (lt)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	SF (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (lt)
1	HS-HVFA SF	45	2,625	236,219	236,219	52,493	685	835	210
2	HS-HVFA	45	2,625	262,465	262,465	-	685	835	210
3	HS	45	2,625	525	-	-	685	835	210

Keterangan :
 SP = superplastisizer
 SF = *silica fume*

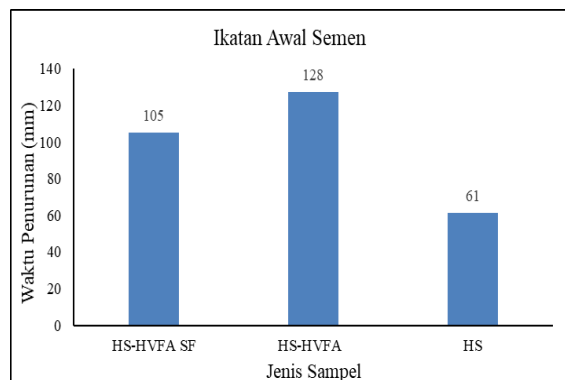
Dapat dilihat pada Tabel 1. bahwa *Fly ash* dari PLTU Tanjung Jati Jepara memiliki kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 77,42 %, maka *fly ash* yang digunakan termasuk kedalam kelas F karena memiliki kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70$ % (SNI 2460, 2014). Selain *fly ash* semua material yang akan digunakan seperti agregat kasar dengan ukuran maximum 2 cm, agregat halus, dan semen sudah dilakukan pengujian kualitas bahan yang hasilnya memenuhi spesifikasi sehingga dapat digunakan dalam campuran beton. Selanjutnya dilakukan perhitungan rancangan campuran beton yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 2.

Benda uji yang dibuat terdiri atas silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan dan silinder beton berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk pengujian absorpsi dan penetrasi ion klorida. Sebelum dilakukan pengujian absorpsi dan penetrasi ion klorida benda uji dipotong sehingga dihasilkan benda uji dengan tinggi 5 cm dan diameter 10 cm. Pengujian perkembangan kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sedangkan pengujian absorpsi dan penetrasi ion klorida dilakukan pada beton umur 28 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Ikatan Awal Semen

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi elastis menjadi plastis, yaitu mengukur penurunan kedalaman penetrasi jarum vicat setiap kali dijatuhkan dengan interval waktu 15 menit hingga mencapai penurunan sebesar 25 mm. Pengujian ikatan awal semen dilakukan sesuai dengan metode yang disebutkan dalam SNI 03-6827-2002 (2002). Hasil pengujian untuk ketiga variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Pengujian Ikatan Awal Semen



Gambar 2. Alat vicat untuk Uji Ikatan Awal Semen

Hasil pengujian ikatan awal pada Gambar 1 menunjukkan semen dengan tambahan *Fly ash* 50% (HVFA) memiliki nilai waktu ikat paling lama dibandingkan dengan pasta semen HVFA dengan tambahan *silica fume* dan pasta semen saja. Hal ini disebabkan oleh reaktivitas *Fly ash* lebih rendah dan reaksi pozzolannya yang lama sehingga rantai reaksi pada saat proses hidrasi akan semakin panjang sehingga menyebabkan lamanya waktu ikat awal pasta HVFA (Pratiwi dkk. 2020). Penambahan *silica fume* sebanyak 10% dari jumlah semen terbukti mampu meningkatkan reaktivitas pasta HVFA meskipun masih lebih lambat dibandingkan pasta semen saja (HS). Menurut (Zhang, and Yan 2016) penambahan *silica fume* dapat menghasilkan reaksi pozzolan yang cepat dapat mendorong reaksi hidrasi semen sehingga dengan adanya tambahan *silica fume* pada campuran semen dengan *fly ash* volume tinggi akan mempercepat waktu ikatan awal semen.

3.2 Pengujian Slump Test

Slump test adalah pengujian beton segar sebelum dimasukkan ke dalam cetakan agar diketahui tingkat workabilitynya. Pengujian dilaksanakan dengan memasukkan adonan beton segar kedalam kerucut slump dalam 3 lapis untuk dipadatkan setiap lapisannya. Selanjutnya setelah kerucut slump diangkat secara tegak lurus, dilakukan pengukuran penurunan tinggi adonan beton. Pada penelitian ini nilai slump beton segar yang direncanakan adalah 25 – 50 mm. Pengujian ini dilakukan sesuai prosedur uji slump SNI (SNI 03-1972-2008, 2008). Selanjutnya hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3, dimana dapat ditarik kesimpulan dari hasil tersebut bahwa tinggi *slump* ketiga variasi campuran pasta semen memiliki hasil yang sesuai dengan tinggi *slump* rencana.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Slump Test*

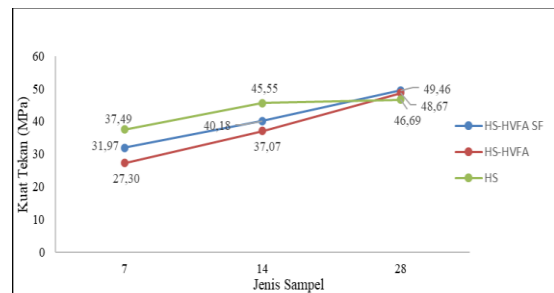
Jenis Sampel	Kadar Silica fume	Titik		Rerata (mm)
		1	2	
HS-HVFA SF	10%	42	35	38,5
HS-HVFA	-	42	37	39,5
HS	-	35	30	32,5

**Gambar 3.** Pengujian *Slump* Beton

Dapat dilihat hasil pengujian pada Tabel 3 nilai slump dengan penambahan *fly ash* sebanyak 50% lebih tinggi karena adanya pengaruh *fly ash* sebagai substitusi semen. Kandungan silika amorf yang tinggi pada *fly ash* dapat meningkatkan kemudahan campuran beton ketika proses pengadukan, pengangkutan, penuangan, dan pemadatan. Selain itu *fly ash* memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dari ukuran partikel semen dan memiliki butiran bulat halus sehingga dapat mengurangi gesekan yang terjadi dan membantu kelancaran pergerakan beton segar (Trisnoyuwono, 2015). Dengan demikian nilai slump beton dengan campuran *fly ash* sebanyak 50% lebih tinggi dibanding nilai slump beton biasa. Sedangkan nilai slump dengan campuran *silica fume* dan *fly ash* lebih rendah dari beton dengan campuran *Fly ash* saja, seperti penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya (Shmls dkk., 2021) *silica fume* dapat menurunkan kelecakan beton, Penurunan kelecakan beton tersebut disebabkan oleh butiran *silica fume* yang sangat halus sehingga dalam proses pencampuran diperlukan air yang lebih banyak untuk membasahi permukaan butirannya. Berbeda dengan kelecakan beton dengan menggunakan *fly ash* dengan butiran berbentuk bulat dan permukaan butiran halus sehingga gesekan yang terjadi pada adukan semakin kecil.

3.3 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan sesuai SNI menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm (SNI 2493, 2011). Pengujian dilakukan berdasarkan setelah benda uji beton dilakukan *curing* selama 28 hari di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan cara menekan benda uji menggunakan alat uji *Compression Testing Machine* (CTM) hingga mencapai beban maksimum. Selanjutnya dengan membagi beban maksimum (P) dengan luas permukaan silinder (A) maka diperoleh kuat tekan beton (f'_c) sebesar $f'_c = P/A$. Hasil uji kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 4.

**Gambar 4.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

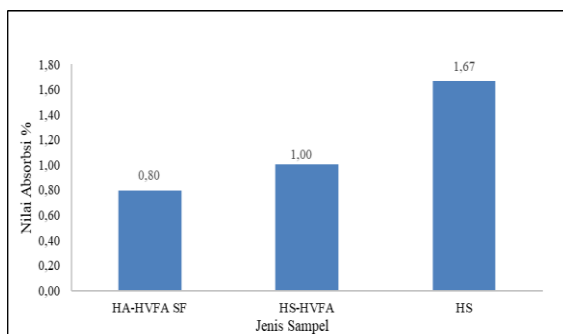
Pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa perkembangan kuat tekan beton HVFA mutu tinggi dengan bahan tambah *silica fume* lebih cepat dibandingkan beton HVFA mutu tinggi saja. Meskipun demikian perkembangan kuat tekan beton normal mutu tinggi (HS) lebih baik apabila dibandingkan dengan kedua variasi yang lain. Hasil ini membuktikan bahwa penambahan *silica fume* mampu mempercepat perkembangan kuat tekan pada HVFA concrete mutu tinggi meskipun belum mampu menyamai perkembangan kuat tekan beton normal. Detail perkembangan kuat tekan beton yang diuji pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari masing-masing variasi adalah: Beton HVFA mutu tinggi tanpa *silica fume* sebesar 56,10%, 80,52%, dan 100%, beton HVFA mutu tinggi dengan *silica fume* sebesar 64,65%, 81,24% dan 100%, sedangkan beton normal mutu tinggi sebesar 80,30%, 97,58%, dan 100%. Meskipun memiliki perkembangan kuat tekan yang lebih lambat, namun penambahan *silica fume* pada beton HVFA mutu tinggi mampu menghasilkan kuat tekan akhir lebih tinggi jika dibandingkan beton normal.

Adanya penambahan *silica fume* yang dapat mempercepat pengerasan sehingga akan meningkatkan kekuatan beton dengan kandungan *fly ash* tinggi pada umur awal juga ditemukan oleh (Krishnaiah dkk., 2019). Namun jika dibandingkan dengan beton konvensional

tanpa campuran kuat tekannya lebih besar beton konvensional. Menurut (Rashad, 2015) beton kandungan *fly ash* tinggi mempunyai kuat tekan rendah pada umur awal karena reaksi pozzolan dari *fly ash* yang lambat, kontribusinya terhadap kuat tekan hanya terjadi pada usia lanjut, kekuatan pada awal beton akan berkurang secara signifikan. Mengatasi hal tersebut ditambahkan *silica fume* kedalam campuran karena *silica fume* digunakan untuk mengisi rongga mikro campuran beton dan zona antarmuka antara agregat kasar dan mortar. Namun, peningkatan kekuatan tekan beton HVFA yang mengeras karena masuknya *silica fume* mungkin terkait dengan efek dari ukuran *silica fume* yang halus sehingga bertindak sebagai pengisi rongga antara *Fly ash* dan semen, mengasalkan sistem yang dipadatkan sehingga nilai kuat tekan ditingkatkan dan ditingkatkan. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Dey, 2016) penambahan *silica fume* sebesar 10% pada beton dengan kandungan *fly ash* sebesar 50% dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 9,5% pada umur 28 hari. Penelitian yang dilakukan oleh Krishnaiah dkk. (2019) dengan menambahkan 10% *silica fume* pada beton dengan kandungan *fly ash* sebesar 50% dapat meningkatkan kekuatan beton 9,5% pada umur 28 hari.

3.4 Pengujian Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi atau penyerapan dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 5 cm. Pengujian ini dilakukan sesuai prosedur dalam SNI (SNI 1970, 2008) yang dilakukan pada umur beton 28 hari. Pengujian dilaksanakan dengan merendam benda uji hingga jenuh kemudian dikeringkan dengan cara oven selama 24 jam. Nilai absorpsi beton adalah prosentase berat air yang dikandung beton dalam kondisi jenuh dibagi dengan berat beton Ketika kering oven. Selanjutnya hasil pengujian absorpsi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengujian Absorpsi Beton



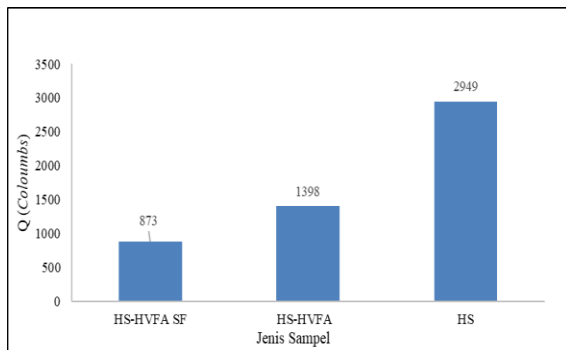
Gambar 6. Pengujian Absorpsi Beton

Dari Gambar 5 hasil pengujian absorpsi beton menunjukkan nilai absorpsi yang paling besar yaitu sebesar 1,67% pada sampel HS yaitu beton normal dan nilai absorpsi paling kecil yaitu 0,8% pada beton dengan variasi *fly ash* sebanyak 50% dan *silica fume* sebanyak 10%. Hal ini disebabkan karena *Fly ash* dan *silica fume* dapat memperbaiki pori - pori beton dengan butiran yang halus dari *fly ash* dan *silica fume* dapat menutup sebagian besar pori - pori beton. Pada penelitian Samhitha dkk, (2019) hasil dari penelitiannya yaitu beton dengan *fly ash* volume tinggi mempunyai kemampuan penyerapan air yang kecil karena struktur mikronya *fly ash* membuat rongga pori berkurang. Pada penelitian Aydin & Arel, (2017) mengatakan bahwa penggunaan *silica fume* sebagai bahan tambah menyebabkan perbaikan pori yang signifikan.

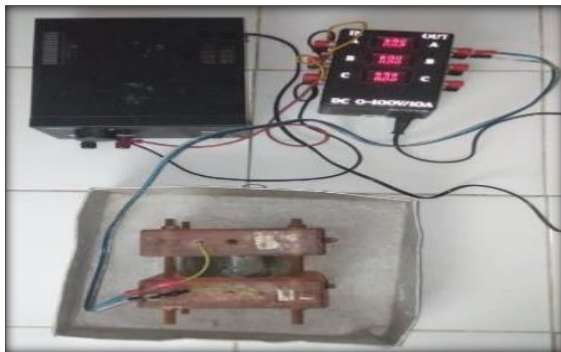
3.5 Pengujian Penetrasi Ion Klorida

Pengujian penetrasi ion klorida dilakukan menggunakan benda uji dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 5 cm. Pengujian ini dilakukan pada beton umur 28 hari menggunakan metode sesuai dengan ASTM (ASTM C 1202 -97, 2002).

Pengujian dilakukan dengan cara mengalirkan arus DC diantara dua kompartemen berisi larutan 3% NaCl dan 0,3N NaOH yang dihubungkan oleh benda uji silinder beton. Pengujian dilaksanakan selama 6 jam dengan mencatat arus yang lewat/ I (Ampere) setiap 30 menit. Selanjutnya hasil pencatatan tersebut dihitung untuk memperoleh charge passed/ Q (Coulomb) dengan menggunakan rumus: $Q = 900 (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360})$. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pengujian Penetrasi Ion Klorida



Gambar 8. Pengujian Penetrasi Ion Klorida

Dari Gambar 7. dapat dilihat bahwa hasil penetrasi ion klorida terbesar pada sampel HS yaitu beton normal sebesar 2949 coloumbs dengan tingkat penetrasio ion klorida sedang. Sedangkan hasil terendah diperoleh dari sampel beton dengan variasi *fly ash* 50% dan *silica fume* 10% sebesar 873 coloumbs yang masuk dalam kriteria penetrasi sangat rendah. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya bahwa pemakaian *fly ash* dapat meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi ion klorida jika dibandingkan beton normal (Solikin dkk., 2021). Dengan adanya tambahan *fly ash* dan *silica fume* menyebabkan pengurangan yang signifikan dalam difusi ion klorida dengan peningkatan kandungan silika. Dengan adanya penambahan *silica fume* menyebabkan perbaikan pori yang lebih besar menjadi lebih kecil karena reaksi pozzolannya bersamaan dengan hidrasi. Dengan adanya tambahan *fly ash* dan *silica fume* dapat memperbaiki durabilitas beton arena memiliki sika amorf yang tinggi dan terdiri dari partikel bulat yang halus (Khan & Siddique, 2011).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan bahwa hasil pengujian *fly ash* yang dilakukan di Balai Konservasi Borobudur Kemetrian Pendidikan, Kebudayaan, dan Teknologi menunjukkan *fly ash* dari PLTU Tanjung Jati Jepara memiliki kandungan silika sebesar 44,71% dan termasuk

kedalam *Fly ash* kelas F. Adanya penggantian Sebagian semen dengan *silica fume* dapat mempengaruhi waktu ikat awal semen pada beton *high Volume fly Ash*, waktu ikat yang terjadi lebih cepat dibandingkan dengan beton *High Volume fly Ash* tanpa substitusi *silica fume* selain itu *silica fume* juga dapat menurunkan kelecakan beton sehingga nilai *slump* lebih rendah dibandingkan dengan beton dengan variasi *fly ash* saja hal ini dikarenakan *fly ash* dapat meningkatkan kelecakan beton dan memperbaiki *workability*. *Silica fume* dapat mempercepat pengerasan pada beton sehingga menghasilkan kuat tekan besar pada umur awal beton, *silica fume* juga mempengaruhi pori – pori pada beton *High Volume Fly Ash*, dengan adanya substitusi *silica fume* dapat mengisi pori-pori pada beton sehingga beton menjadi lebih padat dan nilai penyerapan airnya kecil. Adanya pozzolan pada *fly ash* dapat memperbaiki durabilitas beton terutama pada penetrasi ion klorida, nilai yang didapat sangat rendah. Kadar penggunaan *silica fume* 10% belum berpengaruh banyak terhadap kenaikan kuat tekan beton, namun berpengaruh signifikan pada penurunan penyerapan air terhadap beton, dan penurunan penetrasi ion klorida pada beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada PT Solusi Bangun Beton Yogyakarta yang telah berkontribusi dalam penyediaan material dan Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah menyediakan fasilitas pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Absori, A. (2006). Deklarasi Pembangunan Berkelanjutan dan Implikasinya di Indonesia. *Jurnal Ilmu Hukum*, Vol. 9(No. 1), 49. <http://hdl.handle.net/11617/729>
- Asroni, A. (2016). Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang: Berdasarkan SNI 2847-2013. In *Graha Ilmu*. Muhammadiyah University Press.
- ASTM-C1240-20. (n.d.). file:///D:/LingLing/SMT 7/TPP/PEDOMAN/ASTM-C1240-20.pdf
- ASTM C 1202 -97. (2002). *Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. Annual Book of ASTM Standards.
- Aydin, E., & Arel, H. S. (2017). Characterization of high-volume fly-ash cement pastes for sustainable construction applications. *Construction and Building Materials*, 157, 96–107.

- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.089>
- Dey, S. (2016). Study of Compressive Strength of High Volume Fly Ash Concrete with Varying Proportion of Fly Ash and Silica Fume. *International Journal of Civil Engineering*, 3(3), 3–6. <https://doi.org/10.14445/23488352/ijce-v3i3p102>
- Erviyanto, M., Saleh, F., & Prayuda, H. (2016). Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abut Terbang (Fly Ash) Dan Zat Adiktif (Bestmittel). *Sinergi*, 20(3), 199. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.3.005>
- Khan, M. I., & Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.016>
- Krishnaiah, R. V., Dayakar, P., Venkatraman, K., & Ash, F. (2019). Strength Properties of HVFA Concrete by using Fly Ash and Silica Fume. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(12S), 1012–1015. <https://doi.org/10.35940/ijitee.k1279.10812s19>
- Malhotra, V. M. (1999). Making concrete greener with fly ash. *Concrete International*, Vol. 21(5), 61–66.
- Malhotra, V. M., & Mehta, P. K. (2005). *High Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: materials, mixture proportioning, properties, construction practice, and case histories*. (2nd ed.). Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa Canada.
- Nuraini, K., Ikhtiar Budiman, Y., & Subrata, B. (2019). Penggunaan abu terbang dalam campuran beton sedikit semen portland. *Dinas Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, September*.
- Pratiwi, W. D., Triwulan, Ekaputri, J. J., & Fansuri, H. (2020). Combination of precipitated-calcium carbonate substitution and dilute-alkali fly ash treatment in a very high-volume fly ash cement paste. *Construction and Building Materials*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117273>
- Rashad, A. M. (2015). An exploratory study on high-volume fly ash concrete incorporating silica fume subjected to thermal loads. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 735–744. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.018>
- Shmls, M., Bozsaky, D., & Horváth, T. (2021). Compressive, flexural and splitting strength of fly ash and silica fume concrete. *Pollack Periodica*, 0–5. <https://doi.org/10.1556/606.2021.00448>
- SNI 03-1972-2008. (2008). *Cara Uji Slump Beton (SNI 03-1972)*.
- SNI 1970:2008. (2008). SNI 1970:2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 7–18.
- SNI 2460. (2014). *Spesifi kasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton Standard*.
- SNI2493:2011. (2011). SNI 2493-2011: Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 23.
- Solikin, M. (2016). Compressive strength development of high strength high volume fly ash concrete by using local material. *Materials Science Forum*, 872, 271–275. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.872.271>
- Solikin, M., Ihsan, I. N., Setiawan, B., & Nurchasanah, Y. (2021). ANALISIS KEHALUSAN FLY ASH SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN DURABILITAS BETON HIGH VOLUME FLY ASH MUTU NORMAL. In A. Rochman (Ed.), *Civil Engineering, Environmental, Disaster & Risk Management Symposium (CEEDRiMS) Proceeding 2021* (pp. 157–163). <http://hdl.handle.net/11617/12703>
- Suprpto, S. (2009). Blending Batubara untuk pembangkit listrik - studi kasus PLTU Suralaya unit 1 - 4. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, Vol. 5(13), 31–39.
- Trisnoyuwono, D. (2015). Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Sifat Workability Dan Sifat Fisik - Mekanik Beton Non Pasir Dengan Agregat Alwa Asal Cilacap. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9(1), 29–36. <https://rekayasasipil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/295>
- Ujjianto, M., Ardiansyah, E., Ilokana, G., & Fajrul Falah, M. (2018). Optimization of

superplasticizer MasterGlenium SKY 8614 with added materials fly ash, steel slag, and silica fume for high strength concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 403, 12026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/403/1/012026>

Veda, S. K., Srinivasa, Reddy, V., Seshagiri, Rao, M. V., & Shrihari, S. (2019). Performance evaluation of high-strength high-volume fly ash concrete. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 5990-5994. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C5928.098319>

Yan, G. X., Xia, R., & Sains, U. (2012).

Pengembangan bahan bangunan perlindungan lingkungan ekologis merupakan salah satu mata kuliah. 208, 3695-3699.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.204>

Zhang, Z., Zhang, B., & Yan, P. (2016). Comparative study of effect of raw and densified silica fume in the paste, mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, 105, 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.045>