

Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Pada Beton HVFA Dengan Campuran Abu Batu.

Saifin Nuha¹, Suprpto²

¹ Mahasiswa D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya.

² Dosen D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya.

Email : saifin.21075@mhs.unesa.ac.id, suprpto@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi faktor air semen (FAS) terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton High Volume Fly Ash (HVFA) dengan campuran abu batu 10%. Permasalahan tingginya konsumsi semen di Indonesia berdampak pada peningkatan emisi karbon dioksida, sehingga diperlukan inovasi material konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang dikembangkan adalah beton High Volume Fly Ash (HVFA) dengan penambahan abu batu sebagai substitusi agregat halus. Pemanfaatan fly ash dan abu batu tidak hanya mendukung upaya pengurangan penggunaan semen, tetapi juga mengoptimalkan limbah industri agar bernilai tambah dalam konstruksi, dengan harapan tetap menghasilkan beton berkekuatan tinggi serta modulus elastisitas yang tinggi.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan lima variasi faktor air semen (FAS), yaitu 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; dan 0,5. Campuran beton terdiri dari 50% fly ash sebagai pengganti semen dan 10% abu batu sebagai pengganti sebagian agregat halus. Pengujian dilakukan pada benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dengan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas pada umur 7, 14, dan 28 hari. Seluruh proses pengujian dilaksanakan di laboratorium PT Solusi Bangun Beton untuk memastikan hasil yang valid dan terukur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin rendah nilai FAS, semakin tinggi kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Pada umur 28 hari, FAS 0,3 mencapai kuat tekan rata-rata 37,2 MPa, sedangkan FAS 0,5 hanya mencapai 17,6 MPa. Modulus elastisitas tertinggi juga tercapai pada FAS 0,3, dihitung menggunakan rumus SNI 2847-2013. Perkembangan kuat tekan dan modulus elastisitas lebih cepat. Pada umur 14 hari, beton dengan variasi FAS 0,4–0,5 telah mencapai >90% kuat tekan dan modulus elastisitas pada umur 28 hari. Penggunaan fly ash 50% dan abu batu 10% mampu memberikan peningkatan kekuatan secara signifikan dengan tetap menjaga workability, khususnya pada campuran dengan FAS rendah. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan FAS 0,3–0,35 untuk memperoleh performa optimal, serta mendorong pemanfaatan material ramah lingkungan dalam konstruksi.

Kata Kunci: beton HVFA, faktor air semen, kuat tekan, modulus elastisitas

Abstract

This study aims to analyze the effect of varying water-cement ratios (WCR) on the compressive strength and elastic modulus of High Volume Fly Ash (HVFA) concrete with a 10% stone dust mixture. The high cement consumption in Indonesia has led to increased carbon dioxide emissions, highlighting the need for more environmentally friendly construction materials. One alternative being developed is HVFA concrete with the addition of stone dust as a fine aggregate substitute. The use of fly ash and stone dust

Article History

Received: Juli 2025

Reviewed: Juli 2025

Published: Juli 2025

Plagiarism Checker No
235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.36](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

[5](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



not only supports efforts to reduce cement consumption but also optimizes industrial waste to add value in construction, with the expectation of still achieving high-strength concrete and a high elastic modulus.

This study employed an experimental method with five variations of WCR: 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, and 0.5. The concrete mix consisted of 50% fly ash as a cement replacement and 10% stone dust as a partial fine aggregate replacement. Tests were conducted on cylindrical specimens with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm, with compressive strength and elastic modulus tested at 7, 14, and 28 days. All testing procedures were carried out at the PT Solusi Bangun Beton laboratory to ensure valid and measurable results.

The research findings indicate that the lower the water-cement ratio (WCR), the higher the compressive strength and elastic modulus of the concrete. At 28 days, the 0.3 WCR mix achieved an average compressive strength of 37.2 MPa, while the 0.5 WCR mix reached only 17.6 MPa. The highest elastic modulus was also achieved at a WCR of 0.3, calculated using the SNI 2847-2013 formula. The development of compressive strength and elastic modulus progressed more rapidly; at 14 days, concrete with WCR variations of 0.4–0.5 had already achieved more than 90% of the compressive strength and elastic modulus attained at 28 days. The use of 50% fly ash and 10% stone dust significantly enhanced the strength while maintaining good workability, especially in mixes with lower WCR. This study recommends the use of a 0.3–0.35 WCR to achieve optimal performance and encourages the utilization of environmentally friendly materials in construction.

Keywords: *HVFA concrete, water-cement ratio, compressive strength, elastic modulus*

PENDAHULUAN

Salah satu bahan yang penting dalam pembangunan infrastruktur adalah beton. Asosiasi Semen Indonesia (ASI) mencatat konsumsi semen domestik pada tahun 2021 mencapai 66,21 juta ton, naik dari 2020 yang sebesar 62,51 juta ton. Namun, tingginya tingkat produksi semen menyebabkan beberapa dampak negatif terhadap lingkungan. Pembuatan semen berkontribusi pada peningkatan kadar karbon dioksida (CO₂) di atmosfer. Dengan semakin pesatnya pertumbuhan dan perkembangan teknologi di bidang konstruksi, yang terus mendorong kita lebih memperhatikan standar mutu serta produktivitas kerja, yang tentunya akan berperan dalam meningkatkan sebuah pembangunan konstruksi yang lebih berkualitas. (Arumningsih et al., 2023). Alternatif Penggunaan Abu Batu dan Fly Ash sebagai campuran beton untuk mencapai beton kuat tekan optimum dan ramah lingkungan. Beton HVFA menjadi alternatif beton ramah lingkungan yang merupakan campuran Fly Ash dengan beton biasa.

Abu batu merupakan produk atau hasil sampingan dari industri pemecah batu split (stone crusher) yang jumlahnya tidak sedikit, sehingga limbah abu batu stone crusher menjadi salah satu limbah yang perlu diupayakan penanganannya (Amalia Wildayati, 2019). High Volume Fly Ash (HVFA) adalah campuran mortar atau beton yang mengandung Fly Ash lebih dari 50% dari proporsi cementitious material. HVFA itu sangat baik digunakan untuk mengurangi biaya produksi karena mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan beton. (Lianasari, 2017).

Beton HVFA dengan menggunakan variasi limbah abu batu stone crusher sebagai substitusi agregat halus (pasir alam) dengan kadar substitusi sebesar 0%, 10%, 15% dan 20%. Semakin besar penggunaan limbah beton, semakin besar penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan limbah pada beton dengan proporsi 25% menunjukkan penurunan rata-rata nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang cukup signifikan yaitu 45,39% dan 77,35%. Berlanjut proporsi berikutnya yaitu 50% menunjukkan penurunan 56,99% dan 77,45%. Proporsi 75% menunjukkan penurunan 61,65% dan 79,26%. Proporsi 100% menunjukkan penurunan 66,62% dan 79,12% (Soelarso, S., & Baehaki, B. 2016).

Kajian perbandingan pengaruh umur beton terhadap kuat tekan beton normal dan beton HVFA-SCC. Dengan mengetahui pengaruh umur beton terhadap kuat tekan dapat dilakukan prediksi kuat tekan beton terutama untuk beton HVFA-SCC. Penggunaan HVFA-SCC akan didapatkan beton yang lebih ramah lingkungan (WIBOWO, 2022). Hasil pengujian menunjukkan beton HVFA dengan variasi campuran limbah abu batu *stone crusher* memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan beton LAB 0% (beton normal). Namun, perkembangan beton variasi lebih signifikan terutama setelah umur 28 hari atau pada umur tekan 56 hari. Beton LAB 10% juga memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan beton LAB 0% pada umur 56 hari (Amalia Wildayati, 2019).

Persentase peningkatan kuat tekan beton tertinggi pada umur 56 hari dihasilkan oleh LAB 20% yaitu 33,32% atau sebesar 7,04 MPa dan peningkatan kuat tekan beton terendah dihasilkan oleh LAB 0% (beton normal) yaitu sebesar 10,07% atau 2,83 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak campuran substitusi limbah abu batu pada beton berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan beton (Amalia Wildayati, 2019). Kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh beton LAB 0% (beton normal) pada umur 56 hari yaitu 30,93 MPa. Sedangkan kuat tekan beton HVFA tertinggi dihasilkan oleh variasi campuran LAB 10% yaitu sebesar 30,39 MPa pada umur beton 56 hari. Beton variasi LAB 10,15 dan 20% mengalami keretakan lebih ringan daripada LAB 0% (Amalia Wildayati, 2019).

Berbagai variasi campuran beton yang banyak digunakan dalam pembuatan bangunan sederhana adalah campuran perbandingan 1:2:3. Campuran perbandingan 1 : 2 : 3 adalah perbandingan dalam jumlah volume secara berturut-turut adalah semen, pasir dan kerikil (Ahmad et al., 2022). Menurut SKSNI T-15-1991-03, Beton normal ialah beton yang mempunyai berat isi 2200–2500 kg/m³ dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah. Beton normal dengan kualitas yang baik yaitu beton yang mampu menahan kuat tekan/hancur yang diberi beban berupa tekanan dengan dipengaruhi oleh bahan-bahan pembentuk, kemudahan pengerjaan (*workability*), Faktor Air Semen (FAS) dan zat tambahan (*admixture*) bila diperlukan (Arizki et al., 2015).

Dalam menentukan jumlah air dalam suatu campuran beton dikenal suatu nilai yang disebut nilai Faktor Air Semen (FAS). Faktor air semen atau water to cementitious ratio, adalah rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen pada campuran beton. Semakin kecil nilai

FAS yang dipakai maka akan menghasilkan kekuatan beton yang semakin baik pula. Campuran beton yang menggunakan nilai FAS yang besar, akan lebih sedikit membutuhkan pasta semen, sebaliknya campuran beton yang menggunakan nilai FAS kecil, akan lebih banyak membutuhkan pasta semen (Sari et al,2015).

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan beton HVFA dan campuran abu batu dengan komposisi 10% dengan variasi faktor air semen. Penelitian ini untuk menguji kuat tekan dan kondisi fisik pada waktu umur beton selama 7,14 dan 28 hari. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi faktor air semen terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton HVFA dengan campuran abu batu.

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan termasuk dalam penelitian eksperimen di laboratorium PT. SBB dengan melakukan pengujian kuat tekan beton dengan bahan tambahan berupa Fly Ash, campuran abu batu dan variasi faktor air semen.

B. Diagram Alir

Diagram alir adalah representasi visual yang digunakan untuk menggambarkan alur kerja, proses, atau langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian. Diagram ini bertujuan untuk menjelaskan tahapan penelitian secara sistematis, mulai dari identifikasi masalah hingga kesimpulan



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

C. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian dilaksanakan yaitu pada Bulan Agustus di Laboratorium Beton PT. Solusi Bangun Beton.

D. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel independen (terikat). Variabel bebas berfungsi sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah faktor air semen dengan variasi 0,3;0,35;0,4;0,45;0,5.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat berfungsi sebagai pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton dan modulus penelitian.

3. Variabel Kontrol

Variabel Kontrol adalah variabel yang dikendalikan sehingga pengaruh variabel independen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel control dalam penelitian ini adalah Fly Ash tipe c 50%, abu batu 10% dan Sika visconcrete 1%.

E. Teknik Analisis Data

Data yang didapatkan dari pengujian laboratorium disusun menjadi data dan disajikan dalam bentuk table dengan Microsoft Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh variasi faktor air semen pada beton HVFA dengan campuran abu batu terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas. Sebelum dilakukan pengujian tersebut, terhadap pengujian tersebut perlu dilakukan pengujian material terlebih dahulu. Pengujian material dilakukan agar mengetahui pengaruh faktor air semen terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas dengan mutu ($f'c = 25$ MPa).

A. Uji Agregat Halus

Suatu agregat dikategorikan agregat halus apabila diameter tidak lebih dari 5 mm. Agregat halus atau pasir yang digunakan berasal dari lumajang. Uji agregat halus adalah serangkaian pengujian laboratorium yang dilakukan pada agregat halus untuk menentukan karakteristik dan kesesuaiannya untuk digunakan dalam campuran beton, mortar, atau aspal. Berikut hasil pengujian agregat halus yang dilakukan di laboraorium:

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berdasarkan (SNI 1970: 2008), tujuan uji berat jenis yaitu untuk menentukan berat jenis pasir dalam keadaan SSD. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 1 Berat Jenis Pasir

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Berat Dalam Kondisi SSD	S	g	500
Berat Piknometer + Pasir + Air	C	g	997
Berat Piknometer + Air	B	g	677.3
Berat Pasir Dalam Oven	A	g	495
Berat Jenis Kering (SSD)	$S/(B+S-C)$		2,77
Berat Jenis Kering	$A/(B+S-C)$		2,75
Berat Jenis Dalam Oven	$A/(B+A-C)$		2,82

No Ayakan	Ayakan (mm)	Berat (g)	Tertinggal (g)	Tertinggal (%)	Lolos (%)
3/8	9,5	0	0	0,0	100
4	4,75	0	0	0,0	100
8	2,36	200	200	14,2	85,8
16	1,18	311	511	36,3	63,7
30	0,6	253,5	764,5	54,2	45,8
50	0,30	280,7	1045,2	74,1	25,9
100	0,15	338,6	1383,8	98,2	1,8
200	0,075	0	1383,8	98,2	1,8
Pan		25,8	1409,6	100,00	0,0
Total		1409,6			

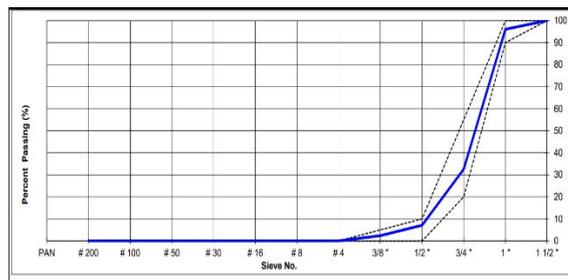
Berdasarkan pengujian berat jenis agregat yang dihaluskan, didapatkan nilai berat jenis kering (SSD) yaitu 2,77. Berdasarkan Standart SNI 1970: 2008 tentang spesifikasi karakteristik agregat halus, nilai

untuk berat jenis yaitu 1,6 – 3,3. Jadi, nilai berat jenis agregat halus yang diperoleh memenuhi standar SNI yang telah ditentukan.

2. Analisa Gradasi Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir agregat halus yang digunakan untuk campuran. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 2 Analisa Gradasi Pasir



Gambar 2 Grafik Gradasi Pasir

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, Data pengujian gradasi agregat halus sesuai dengan SNI 03-2834-1992 yaitu masuk kedalam zona 1.

3. Absorsi Agregat Halus

Tujuan Pengujian ini yaitu menentukan kadar air resapan agregat halus yang akan dijadikan sampel beton. Berikut hasil pengujian absorsi agregat halus.

Tabel 3 Absorsi Pasir

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Berat Dalam Kondisi SSD	S	g	500
Berat Pasir Dalam Oven	A	g	495
Absorsi	$(S-A)/A \cdot 100\%$	g	1,01

Hasil pengujian absorsi agregat halus yang telah dilakukan mendapat hasil yaitu 1,01. Berdasarkan ASTM C 128-93 tentang karakteristik agregat halus, nilai penyerap air untuk agregat halus memiliki spesifikasi batas penyerapan air sebesar 3%. Jadi nilai absorsi agregat halus yang diperoleh sesuai dengan standar spesifikasi. Sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran.

4. Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur pada agregat halus.

Tabel 4 Kadar Lumpur Agregat Halus

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Massa Sampel sebelum di cuci	B	gram	500.0
Massa sampel sesudah dicuci	C	gram	496.0

$$\text{Kadar Lumpur} = \left(\frac{B-C}{B} \right) \times 100 \% = \left(\frac{500-496}{500} \right) \times 100 \% = 0.80\%$$

Berdasarkan hasil pengujian diatas yaitu kadar lumpur 0,80%. Menurut ASTM C 128, kadar lumpur agregat halus yaitu maksimum 5%. Seingga, hasil penelitian tersebut memenuhi standar ASTM C 128.

5. Unit Weight/Density Agregat Halus

Tujuan pengujian unit weight/densitas pada agregat halus adalah untuk menentukan berat volume agregat halus, baik dalam kondisi gembur (loose) maupun padat (compacted). Berikut hasil yang diperoleh setelah pengujian dilakukan.

Tabel 5 Unit Weight/Densities Pasir

Deskripsi	Simbol	Satuan	Compact	Loose	Average
Berat Pasir	A	g	12000	10944	11472,0
Volume Silinder	B	cm ³	6950	6950	6950
Unit Weight/Density	A/B	gr/cm ³	1,73	1,57	1,65

Nilai berat Volume rata rata dari agregat halus berdasarkan hasil pengujian diatas yaitu 1,65 g/cm³. Berat volume rata rata pada penelitian ini memenuhi syarat ASTM C 29-91 yaitu antara 1,35-1,71 g/cm³.

B. Uji Agregat Kasar Split

Pengujian agregat split dilakukan beberapa pengujian yaitu pengujian berat jenis, gradasi agregat kasar, absorsi kadar lumpur dan unit weight/density. Pengujian Ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dan kelayakan material sebagai salah satu campuran sampel benda uji beton. Berikut hasil pengujian agregat kasar yang dilakukan di laboratorium

a) Berat Jenis Agregat Kasar Split

Berdasarkan (ASTM C 127-88-93), tujuan uji ini yaitu untuk menentukan berat jenis dalam kondisi SSD. Berikut hasil pengujian berat jenis split.

Tabel 6 Berat Jenis Split

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Berat Dalam Air	C	g	1788
Berat Dalam Kondisi SSD	B	g	2830
Berat Kering Oven	A	g	2800
Berat Jenis Kering (SSD)	B/(B-C)	g	2,72
Berat Jenis Kering	A/(B-C)	g	2,69
Berat Jenis Dalam Oven	A/(A-C)	g	2,77

Berdasarkan pengujian berat jenis agregat kasar (Split 12-25) ini diketahui bahwa hasil berat jenis tersebut 2.72 gram. Dalam ASTM C.127 berat jenis agregat kasar yaitu 2.4-2.8 g/cm³. Hasil tersebut telah/ memenuhi ASTM C.127.

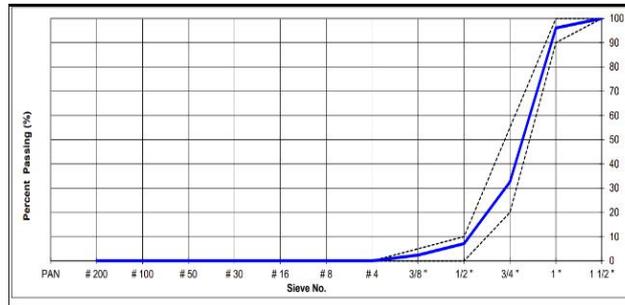
b) Gradasi Agregat Kasar

Pengujian Gradasi dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran/gradasi agregat kasar split. Pengujian ini dilakukan dengan memasukan split ke ayakan dan digetarkan menggunakan bantuan alat ayak. Setelah itu, masing masing saringan ditimbang bersama split yang tertahan pada saringan. Berikut hasil pengujian gradasi agregat kasar split

Tabel 7 Analisa Gradasi Split

No Ayakan	Ayakan (mm)	Berat (g)	Tertinggal (g)	Tertinggl (%)	Lolos (%)
1 1/2	38,1	0	0	0,0	100
1	25	125,1	125,1	3,9	96,1
3/4	19	2031	2156,1	67,5	32,5
1/2	12,5	812,3	2968,4	92,9	7,1
3/8	9,5	152	3120,4	97,6	2,4

4	4,75	75	3195,4	100,0	0,0
8	2,36	0	3195,4	100,0	0,0
16	1,18	0	3195,4	100,0	0,0
30	0,60	0	3195,4	100,0	0,0
50	0,30	0	3195,4	100,0	0,0
100	0,15	0	3195,4	100,0	0,0
200	0,075	0	3195,4	100,0	0,0
Pan		1	3196,4	100,00	0,0
Total		3196,4			



Gambar 3 Grafik Ayakan Agregat Halus

Berdasarkan data pengujian gradasi diatas sesuai Standart SNI 2847-2013 tentang agregat kasar yaitu agregat kasar memiliki ukuran 5 mm (no 4) sampai 40 mm (no 1 1/2).

c) Absorsi Agregat Kasar Split

Pengujian absorsi agregat kasar bertujuan untuk menentukan kadar air yang diserap oleh agregat kasar split. Berikut hasil pengujian absorsi agregat kasar split.

Tabel 8 Absorsi Split

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Berat Dalam Kondisi SSD	S	g	2830
Berat Kering Dalam Oven	A	g	2800
Absorsi	(S-A/A)100%	g	1,07

Diketahui hasil penelitian absorsi agregat kasar rata rata yaitu 1,07%. Berdasrkan ASTM C127-88, kadar air repan agregat kasar maksimal adalah 3%. Jadi agregat kasar split yang digunakn memenuhi standar spefikasi.

d) Kadar Lumpur Agregat Kasar

Uji kadar lumpur pada agregat kasar yaitu untuk Penelitian ini bertujuan untuk menentukan persentase kandungan lumpur yang terkandung dalam agregat kasar.

Tabel 9 Kadar Lumpur Agregat Kasar Split

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Massa Sampel sebelum di cuci	B	gram	500.0
Massa sampel sesudah dicuci	C	gram	495.0

$$\text{Kadar Lumpur} = \left(\frac{B-C}{B} \right) \times 100 \% = \left(\frac{500-495}{500} \right) \times 100 \% = 1.00\%$$

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, kadar lumpur dari agregat kasar yaitu 1.00%. Berdasarkan ASTM C 128, kadar lumpur agregat kasar yaitu maksimal 1.00%. Jadi, hasil penelitian tersebut memenuhi syarat.

e) Unit Weight/Density

Pengujian Unit Weight/Density Bertujuan untuk mengetahui berat volume agregat kasar split yang dijadikan bahan campuran sampel benda uji. Hasil pengujian Unit weight/Density sebagai berikut.

Tabel 10 Unit Weight/ density Split

Deskripsi	Simbol	Satuan	Compact	Loose	Average
Berat Split	A	g	11888	9555	10721,5
Volume Silinder	B	cm ³	6950	6950	6950
Unit Weight/Density	A/B	gr/cm ³	1,71	1,37	1,54

Berdasarkan pengujian diatas didapatkan nilai berat volume rata rata yaitu sebesar $1,54 \text{ g/cm}^3$. Berat volume rata rata yang telah ditentukan ASTM C 29-91 yaitu $1,35 - 1,75 \text{ g/cm}^3$. Jadi split yang digunakan memenuhi syarat spesifikasi unit weight/density.

C. Uji Semen

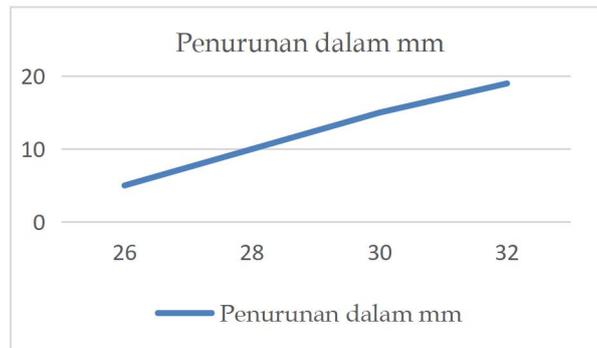
Dari beberapa pemeriksaan yang dilakukan dalam tahap uji bahan, maka diperoleh hasil yang menggambarkan sifat serta karakteristik terhadap semen. Untuk pengujian semen ini terdiri dari uji konsistensi semen, waktu ikat semen, dan berat jenis semen.

A. Uji Konsistensi Semen

Uji konsistensi ini berguna untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan semen untuk mencapai konsistensi normalnya.

Tabel 11 Data Percobaan Uji Konsistensi Semen

Kadar Air (%)	Kadar Air (CC)	Penurunan (mm)
26	65	9,5
30	75	14,5



Gambar 4 Grafik Prosentase Air & Penurunan Jarum Vicat

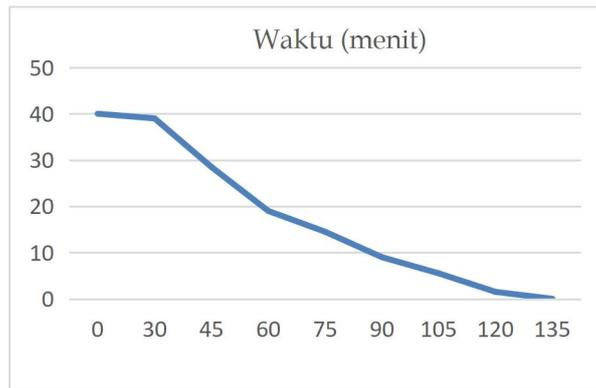
Dari grafik didapatkan bahwa penurunan 10 mm kadar air sebesar 28,4%. Berdasarkan uji ini hasil tersebut telah memenuhi SNI 2049:2015.

B. Waktu Ikat Semen

Pengujian ini yang berguna untuk mencari nilai waktu ikat beton segar. Penelitian ini dilakukan selama dua menit.

Tabel 12 Waktu Ikat Semen (Mix. Pada pukul 15.30)

Menit ke	Penetrasi (mm)
0	40
30	39
45	28.5
60	19
75	14.5
90	9
105	5.5
120	1.5
135	0



Gambar 5 Grafik Waktu Ikat Semen

Waktu ikat semen terbagi atas 2 yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Pengujian waktu ikat dapat dilakukan apabila nilai konsistensi normal semen tercapai. Dalam SNI 15-2049-2004 waktu ikat awal semen minimal 30 menit dan waktu ikat akhir maksimum 375 menit. Berdasarkan hasil dari uji ini.

C. Berat Jenis Semen

Pengujian ini berguna untuk mengetahui nilai berat isi semen tersebut.

Tabel 13 Data Percobaan Berat jenis semen

Berat Picnometer kosong	W = 93,6 gram
Berat Portland semen	A = 125 gram
Berat Picnometer + Minyak Tanah	B = 292,4 gram
Berat Picnometer + Minyak Tanah + PC	C = 383,2 gram
Berat Jenis Minyak Tanah	$\gamma' = 0,80$ gram/cc

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Portland Cement} &= (0,8 \times A) / (125 - (C - B)) \\ &= (0,8 \times 125) / (125 - (383,2 - 292,4)) \\ &= 2,92 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Dalam SNI 15-2531-1991 berat jenis semen disyaratkan berkisar antara 3.00 – 3.20 t/m³. Berdasarkan pengujian berat jenis semen ini diketahui bahwa hasil tersebut memenuhi SNI 15-2531-1991.

D. Uji Abu Batu

Pengujian Ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dan kelayakan abu batu sebagai salah satu campuran substitusi agregat halus salah satu bahan tambah campuran sampel benda uji beton. Berikut masing masing hasil pengujian abu batu.

1. Berat Jenis Abu Batu

Pengujian ini untuk mengetahui berat jenis abu batu dalam kondisi SSD. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil sebagai berikut.

Tabel 14 Berat Jenis Abu Batu

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Berat Dalam Kondisi SSD	S	g	500
Berat Pknometer + Pasir + Air	C	g	993,4
Berat Pknometer + Air	B	g	673,95
Berat Abu Batu Dalam Oven	A	g	486,5
Berat Jenis Kering (SSD)	$S/(B+S-C)$		2,77
Berat Jenis Kering	$A/(B+S-C)$		2,69

Berat Jenis Dalam Oven	$A/(B+A-C)$		2,94
------------------------	-------------	--	------

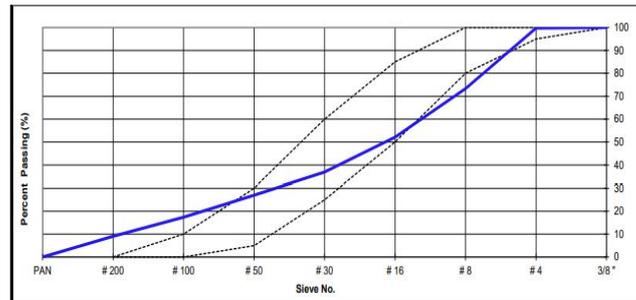
Berdasarkan SNI 1971:2008 berat jenis abu batu yang memenuhi sebesar 2,4 – 2,9 gr. Diketahui hasil pengujian dihasilkan nilai berat jenis abu batu kering (SSD) yaitu 2,77 gr.

2. Analisa Gradasi Abu Batu

Analisa gradasi dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir abu batu yang digunakan untuk substitusi agregat halus sebagai bahan tambah dalam sampel benda uji beton.

Tabel 15 Analisa Gradasi Abu Batu

No Ayakan	Ayakan (mm)	Berat (g)	Tertinggal (g)	Tertinggal (%)	Lolos (%)
3/8	9,5	0	0	0,0	100
4	4,75	13	13	0,2	99,8
8	2,36	1418	1431	26,7	73,3
16	1,18	1134,1	2565,1	47,9	52,1
30	0,6	816,2	3381,3	63,1	36,9
50	0,30	530,3	3911,6	73,0	27,0
100	0,15	513,3	4424,9	82,6	17,4
200	0,075	448,5	4873	90,9	9,1
Pan		25,8	1409,6	100,00	0,0
Total		1409,6			



Gambar 6 Grafik Gradasi Abu Batu

Standart spesifikasi gradasi abu batu hampir sama dengan pasir yaitu SNI 03-1968-1990 dan ASTM C33. Jadi, Pengujian diatas memenuhi standar spesifikasi gradasi yaitu masuk zona 1.

3. Absorsi Abu Batu

Tujuan Pengujian ini yaitu menentukan kadar air resapan agregat halus yang akan dijadikan sampel beton. Berikut hasil pengujian absorsi agregat halus.

Tabel 16 Absorsi Abu Batu

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Berat Dalam Kondisi SSD	S	g	500
Berat Kering Dalam Oven	A	g	486,5
Absorsi	$(S-A)/A \times 100\%$	g	2,78

Hasil pengujian absorsi abu batu yang telah dilakukan mendapat hasil yaitu 2,78 gr. Berdasarkan ASTM C 128-93 tentang karakteristik agregat halus, nilai penyerap air untuk abu batu memiliki spesifikasi batas penyerapan air sebesar 3%. Jadi nilai absorsi abu batu yang diperoleh sesuai dengan standar spesifikasi. Sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran.

4. Kadar Lumpur Abu Batu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur pada agregat halus.

Tabel 17 Kadar Lumpur Agregat Halus

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Massa Sampel sebelum di cuci	B	gram	500.0
Massa sampel sesudah dicuci	C	gram	484.0

$$\text{Kadar Lumpur} = \left(\frac{B-C}{B} \right) \times 100 \% = \left(\frac{500-484}{500} \right) \times 100 \% = 3.24\%$$

Berdasarkan hasil pengujian abu batu diatas yaitu kadar lumpur 3,24%. Menurut ASTM C 128, kadar lumpur agregat halus yaitu maksimum 5%. Seingga, hasil penelitian tersebut memenuhi standar ASTM C 128

5. Berat Jenis Gabungan Abu Batu Dan Pasir

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis abu batu dan pasir ketika dijadikan satu dalam kondisi SSD. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 18 Berat Jenis Gabungan Abu Batu dan Pasir

Deskripsi	Simbol	Satuan	Hasil
Berat Dalam Kondisi SSD	S	g	500
Berat Piknometer + Pasir + Air	C	g	987,4
Berat Piknometer + Air	B	g	674,95
Berat Abu Batu Dalam Oven	A	g	490,5
Berat Jenis Kering (SSD)	$S/(B+S-C)$		2,67
Berat Jenis Kering	$A/(B+S-C)$		2,61
Berat Jenis Dalam Oven	$A/(B+A-C)$		2,75

Berdasarkan pengujian berat jenis gabungan abu batu dan pasir, didapatkan nilai berat jenis kering (SSD) yaitu 2,67 . Berdasarkan Standart SNI 1970: 2008 tentang spesifikasi karakteristik agregat halus, nilai untuk berat jenis yaitu 1,6 – 3,3. Jadi, nilai berat jenis gabungan abu batu dan pasir yang diperoleh memenuhi standar SNI yang telah ditentukan.

E. Hasil Pengujian

1. Pengujian *Slump Test*

Pengujian dilakukan saat membuat campuran mix desain pada masing-masing benda uji beton pada setiap variasi faktor air semen. Berikut hasil uji slump setiap variasi.

Tabel Slump Optimal Berdasarkan Klasifikasinya (SNI 1972:2008)

Tabel 19 SNI Slump Test

Jenis Beton	Pekerjaan	Slump Optimal	Klasifikasi
Pondasi Dangkal , Lantai Kerja		7-10	Sedang
Balok, Kolom		10-20	Plastik/ Agak Encer
Pengerjaan dengan Pompa Beton		10-20	Plastik/ Agak Encer
Pengerjaan Beton Bertulang Rapat		12-20	Encer (High Workability)
Pekerjaan Beton Masif (Besar)		2-10	Kaku/Seadng (Low Workability)

Tabel 20 Hasil Uji Slump

Slump	
Jenis Campuran	Hasil Slump
FAS 0,3	12
FAS 0,35	15
FAS 0,4	18
FAS 0,45	19
FAS 0,5	20

Berdasarkan hasil uji slump diatas, nilai slump FAS 0,3 dan 0,35 sebesar 12 dan 15 sangat cocok untuk pengerjaan pekerjaan kolom, balok dan pekerjaan dengan menggunakan pompa beton dan juga pekerjaan bertulang rapat. Sedangkan Fas 0,4 ; 0,45 dan 0,5 didapatkan nilai slump 18,19,dan 20 sangat cocok untuk pekerjaan beton bertulang rapat dan pekerjaan dengan pompa beton.

2. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan di PT Solusi Bangun Beton menggunakan mesin Compressing Testing Machine (CTM). Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sampel uji beton terdiri dari 5 variasi yaitu FAS 0,3; 0,35; 0,4; 0,45 dan 0,5 dengan campuran abu batu dan Fly Ash. Berikut hasil pengujian kuat tekan masing masing beton.

Tabel 21 Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

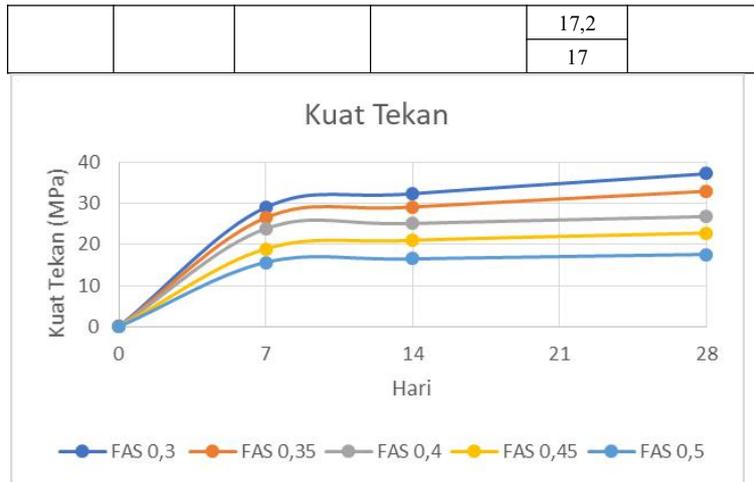
Beton Umur 7 Hari					
Jenis Beton	Pengisi	Pengikat	Variasi Campuran	Fc (Mpa)	Rata Rata (Mpa)
HVFA Dengan Mutu Normal 25 F°c	Abu bAtu 10% + Agregat Halus dan Agregat Kasar	Fly Ash 50 % + Semen OPC	FAS 0,3	28	29
				31,2	
				27,8	
			FAS 0,35	27,1	26,5
				25,5	
				26,9	
			FAS 0,4	24,4	23,84
				23,2	
				23,9	
			FAS 0,45	18,6	18,94
				17,9	
				20,3	
			FAS 0,5	16	15,67
				16,1	
				14,9	

Tabel 22 Tabel Uji Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

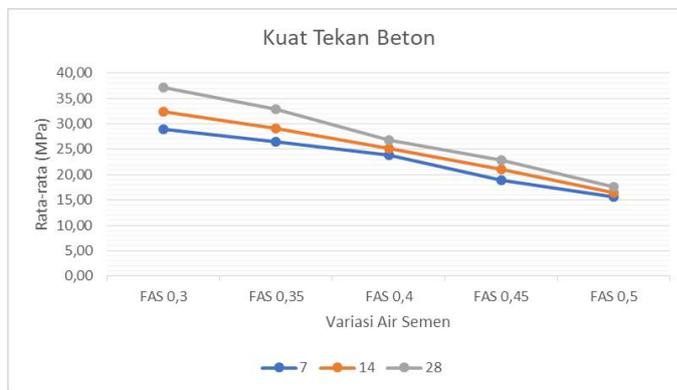
Beton Umur 14 Hari					
Jenis Beton	Pengisi	Pengikat	Variasi Campuran	Fc (Mpa)	Rata Rata (Mpa)
HVFA Dengan Mutu Normal 25 F°c	Abu bAtu 10% + Agregat Halus dan Agregat Kasar	Fly Ash 50 % + Semen OPC	FAS 0,3	31,3	32,34
				32,6	
				33,1	
			FAS 0,35	29,1	29,1
				30,1	
				28,1	
			FAS 0,4	25,3	25,1
				24,7	
				25,2	
			FAS 0,45	20,4	21
				21,4	
				21,1	
			FAS 0,5	16,6	16,5
				16,6	
				16,2	

Tabel 23 Tabel Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Beton Umur 28 Hari					
Jenis Beton	Pengisi	Pengikat	Variasi Campuran	Fc (Mpa)	Rata Rata (Mpa)
HVFA Dengan Mutu Normal 25 F°c	Abu bAtu 10% + Agregat Halus dan Agregat Kasar	Fly Ash 50 % + Semen OPC	FAS 0,3	37,6	37,2
				35,4	
				38,5	
			FAS 0,35	31,2	32,94
				33,8	
				33,8	
			FAS 0,4	26,5	26,8
				27,7	
				26,2	
			FAS 0,45	22,8	22,8
				21,9	
				23,7	
			FAS 0,5	18,6	17,6



Gambar 7 Hubungan antara Kuat Tekan Dan FAS



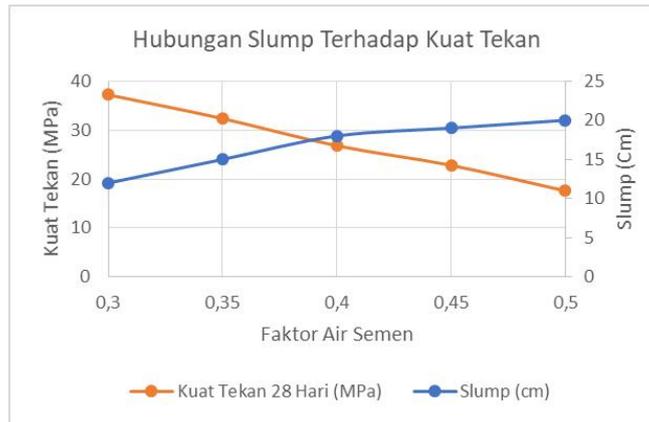
Gambar 8 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Umur Beton

Dari tabel dan grafik di atas, Kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya umur. Pada umur 28 hari, semua variasi FAS mencapai kekuatan maksimum, menunjukkan bahwa beton dengan Fly Ash dapat mencapai kekuatan yang baik jika diberi waktu yang cukup untuk mengeras.

Beton dengan FAS 0,3 memiliki kuat tekan tertinggi, sedangkan FAS 0,5 memiliki kuat tekan terendah. Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh rasio air-semen. Peningkatan air dalam adukan beton (nilai FAS dan slump yang tinggi) dengan FAS 0,3 memiliki kuat tekan yang lebih tinggi yaitu 37,2 MPa, sementara beton dengan FAS 0,5 memiliki kuat tekan yang lebih rendah 17,6 MPa.

Tabel 24 Hubungan Slump Terhadap Kuat Tekan

NO	FAS	Slump (cm)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
1	0,3	12	37,2
2	0,35	15	32,3
3	0,4	18	26,8
4	0,45	19	22,8
5	0,5	20	17,6



Gambar 9 Grafik Hubungan Slump Terhadap Kuat Tekan

Berdasarkan data dan grafik, terdapat hubungan terbalik antara nilai slump dan kuat tekan beton. Semakin tinggi slump (menandakan adukan lebih encer dan FAS lebih tinggi), maka kuat tekan beton cenderung menurun.

Hal ini disebabkan oleh jumlah air yang lebih sedikit menyebabkan beton lebih padat dan kuat, sementara FAS tinggi menyebabkan beton lebih berpori, sehingga menyebabkan porositas lebih besar saat mengeras dan mengurangi kekuatan tekan akhir.

Tabel 25 Persentase Hubungan FAS Dan Umur Beton

No	FAS	Kuat Tekan					
		7 Hari		14 hari		28 hari	
		Mpa	%	Mpa	%	Mpa	%
1	FAS 0,3	29,00	78%	32,34	87%	37,20	100%
2	FAS 0,35	26,50	80%	29,10	88%	32,94	100%
3	FAS 0,4	23,84	89%	25,10	94%	26,80	100%
4	FAS 0,45	18,94	83%	21,00	92%	22,80	100%
5	FAS 0,5	15,67	89%	16,50	94%	17,60	100%

Berdasarkan tabel diatas, kuat tekan meningkat seiring bertambahnya umur beton, terutama signifikan dari hari ke-7 ke hari ke-14. Pertumbuhan kekuatan melambat setelah hari ke-14, mendekati kekuatan maksimum di hari ke-28. Semakin besar FAS, maka kuat tekan cenderung lebih rendah.

Menurut PBI 1971, hubungan antara kuat tekan beton dan umur dapat dilihat ditabel berikut.

Tabel 26 Hubungan Slump Terhadap Kuat Tekan

Umur	Kuat Tekan Beton (%)
3	40
7	65
14	88



21	95
28	100
90	120
365	135

Semua nilai kuat tekan beton pada umur 7 hari di melampaui standar (78–89%). Ini menunjukkan proses hidrasi cepat, kualitas bahan baik. Pada umur 14 hari semua sampel juga melampaui atau setara standar, dengan kekuatan 87–94%. Ini berarti beton terus berkembang meskipun agak melambat. Sedangkan pada umur 28 hari, semua beton mencapai 100% pada umur 28 hari, seperti yang diharapkan. Ini memperlihatkan bahwa semua campuran mencapai kekuatan puncaknya dengan baik.

Pada campuran beton diatas, semen OPC menghasilkan Ca(OH)_2 pada awal hidrasi. Ca(OH)_2 ini kemudian bereaksi dengan Fly Ash. Fly Ash sendiri bereaksi lambat pada awalnya, tetapi mulai aktif setelah tersedia cukup banyak Ca(OH)_2 dari hidrasi semen. Maka dari itu, terjadilah pembentukan C-S-H gel yang sangat berperan dalam kekuatan beton. Dengan terbentuknya lebih banyak C-S-H gel dari reaksi pozzolanik, kekuatan beton bertambah pada umur lebih lanjut. Reaksi pozzolanik menghasilkan struktur beton yang lebih padat, mengurangi permeabilitas terhadap air dan zat agresif.

Selain itu, Sika type f juga mempengaruhi proses pengerasan awal dan densitas beton dikarenakan Sika type f mengurangi air bebas dalam campuran beton. Dengan berkurangnya air bebas, struktur beton menjadi lebih rapat, sehingga mempercepat terbentuknya jaringan kristal hasil hidrasi semen (C-S-H gel). Hal ini mendukung peningkatan kekuatan awal, khususnya pada umur 7–14 hari.

F. Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian Modulus elastisitas ini dilakukan pada beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sampel uji beton terdiri dari 5 variasi yaitu FAS 0,3; 0,35; 0,4; 0,45 dan 0,5 dengan campuran abu batu dan Fly Ash. Berdasarkan SNI 2847 - 2013 diketahui rumus sebagai berikut.

1. $E_c = 0,043 w_c^{1,5} \sqrt{f'_c}$ untuk $1500 < w_c < 2500 \text{ kg/m}^3$
2. $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$ untuk beton normal

Dimana:

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)
 w_c = Berat Volume beton (Kg/m^3)
 f'_c = Kuat Desak Beton (MPa)

Diketahui rumus yang pertama harus mencari berat volume beton (w_c) terlebih dahulu, diketahui:

Berat beton = 12,8 Kg

Dimensi Silinder:

H (Tinggi) = 30 cm = 0,3 m

D (Diameter) = 15 cm = 0,15

Volume Silinder = $\frac{1}{4} \times \pi \times D \times L$
 = $\frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3$
 = 0,053 m

$W_c = \frac{12,8}{0,0053} = 2415,09 \text{ mm}$

Jadi, berdasarkan perhitungan diatas ditentukan

$w_c = 2415,09$

Berikut hasil pengujian modulus menggunakan berdasarkan SNI 2847 – 2013.

Tabel 27 Modulus Elastisitas Beton Umur 7 Hari

Beton Umur 7 Hari

Variasi Campuran	Fc (Mpa)	Modulus Elastisitas SNI 2 ($4700 \sqrt{f_c}$)	Modulus Elastisitas SNI 1 ($0,043 w_c^{1,5} \sqrt{f_c}$)
FAS 0,3	28	24870,0623	26378,81
	31,2	26252,7713	27845,41
	27,8	24781,0815	26284,43
FAS 0,35	27,1	24467,1004	25951,41
	25,5	23733,8366	25173,66
	26,9	24376,6487	25855,47
FAS 0,4	24,4	23216,2874	24624,71
	23,2	22638,1978	24011,55
	23,9	22977,1843	24371,1
FAS 0,45	18,6	20270,0271	21499,72
	17,9	19884,9441	21091,27
	20,3	21176,095	22460,75
FAS 0,5	16	18800	19940,51
	16,1	18858,6585	20002,73
	14,9	18142,2435	19242,85

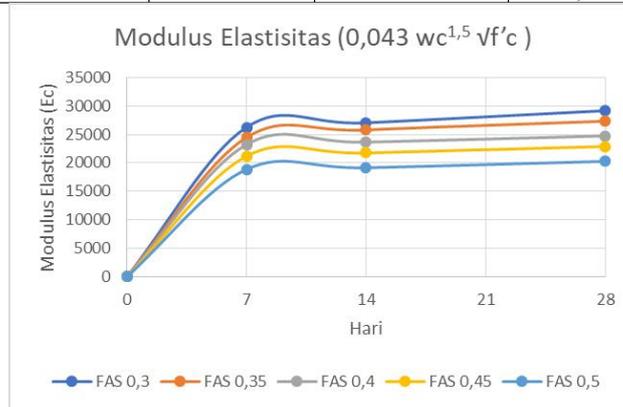
Tabel 28 Modulus Elastisitas Beton Umur 14 Hari

Beton Umur 14 Hari			
Variasi Campuran	Fc (Mpa)	Modulus Elastisitas SNI (Ec)	Modulus Elastisitas SNI 1 (Ec)
FAS 0,3	31,3	26294,8094	27888,26
	32,6	26835,3126	28461,52
	33,1	27040,3217	28678,95
FAS 0,35	29,1	25353,8754	26890,31
	30,1	25785,8294	27348,44
	28,1	24914,4336	26424,24
FAS 0,4	25,3	23640,5795	25073,19
	24,7	23358,5744	24774,09
	25,2	23593,8127	25023,59
FAS 0,45	20,4	21228,1888	22514,61
	21,4	21742,263	23059,83
	21,1	21589,3261	22897,63
FAS 0,5	16,6	19149,2559	20309,69
	16,6	19149,2559	20309,69
	16,2	18917,1351	20063,5

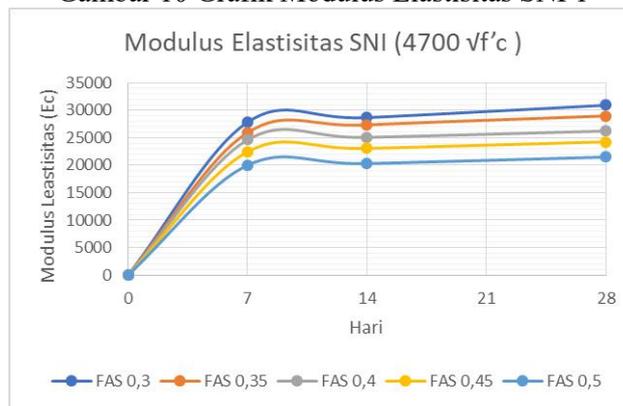
Tabel 29 Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari

Beton Umur 28 Hari			
Variasi Campuran	Fc (Mpa)	Modulus Elastisitas SNI 2 (Ec)	Modulus Elastisitas SNI 1 (Ec)
FAS 0,3	37,6	28819,8543	30566,32
	35,4	27964,0126	29658,62
	38,5	29162,7331	30929,98
FAS 0,35	31,2	26252,7713	27843,68
	33,8	27324,7507	28980,62
	33,8	27324,7507	28980,62
FAS 0,4	26,5	24194,7308	25660,92
	27,7	24736,471	26235,49

	26,2	24057,3897	25515,26
FAS 0,45	22,8	22442,1924	23802,18
	21,9	21994,7948	23327,67
	23,7	22880,8435	24267,41
FAS 0,5	18,6	20270,0271	21498,38
	17,2	19492,2549	20673,48
	17	19378,5964	20552,93



Gambar 10 Grafik Modulus Elastisitas SNI 1



Gambar 11 Grafik Modulus Elastisitas SNI 2

Berdasarkan data diatas, diperoleh bahwa nilai modulus elastisitas meningkat seiring bertambahnya umur beton. Pada umur 7 hari, FAS 0,3 menunjukkan nilai modulus elastisitas tertinggi, yaitu berkisar antara 26.000–27.800 MPa, sedangkan FAS 0,5 menunjukkan nilai terendah, yakni hanya sekitar 18.000–20.000 MPa. Hal ini mencerminkan bahwa beton dengan FAS lebih kecil (lebih sedikit air dalam campuran) cenderung memiliki kekuatan tekan lebih tinggi, yang secara langsung mempengaruhi nilai modulus elastisitas.

Pada umur 14 hari, terjadi peningkatan yang signifikan pada seluruh variasi FAS. FAS 0,3 kembali mencatat nilai tertinggi, yaitu sekitar 27.000–28.800 MPa, menunjukkan bahwa beton dengan campuran Fly Ash dan FAS rendah tetap mampu berkembang pesat dalam kekuatan dan kekakuan. Beton dengan FAS 0,5 tetap menunjukkan perkembangan lebih lambat, dengan nilai modulus berkisar 19.000–20.300 MPa. Hasil ini konsisten dengan teori bahwa semakin besar FAS, maka semakin banyak air bebas dalam campuran yang membentuk pori-pori saat mengeras, sehingga mengurangi densitas beton dan menurunkan modulus elastisitasnya.

Pada umur 28 hari, tren peningkatan modulus elastisitas berlanjut dan semakin jelas. FAS 0,3 mencatat nilai tertinggi dengan kisaran 29.000–30.500 MPa. Diikuti oleh FAS 0,35 dengan nilai sekitar 27.300–28.900 MPa. FAS 0,4 dan 0,45 memiliki nilai yang lebih rendah, sedangkan FAS 0,5 menunjukkan nilai paling rendah yaitu hanya sekitar 19.300–21.500 MPa.



Selain menggunakan rumus SNI, pengujian modulus elastisitas ini juga menggunakan rumus ASTM C 469 dengan rumus sebagai berikut.

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa atau kg/cm²)

σ_2 = Tegangan pada 40% Kuat Tekan Maksimum

σ_1 = Tegangan Pada Beban Awal

ϵ_2 = Regangan Pada Tegangan σ_2

ϵ_1 = Regangan Awal (σ_1)

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas berdasarkan ASTM C 469.

Tabel 30 Uji Modulus Elastisitas Umur 7 Hari

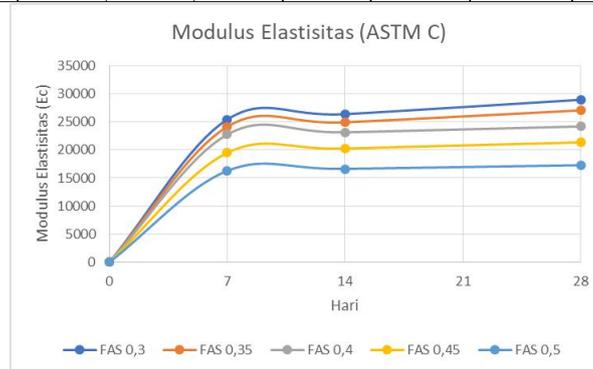
Jenis Beton	Variasi Benda Uji	Uji Kuat Tekan	40% Fc	Luas Penaampang	Beban Awal	Δl (mm)	ϵ_1 (Δl)	ϵ_2	Modulus Elastisitas (ASTM C)
HVFA- Abu Batu 10%	FAS 0,3	28	11,2	17671	2,8	0,0344	0,0001147	0,000450341	25024,28
		31,2	12,48	17671	3,12	0,0364	0,0001213	0,000475378	26437,31
		27,8	11,12	17671	2,78	0,034	0,0001133	0,000448729	24866,12
	FAS 0,35	27,1	10,84	17671	2,71	0,0337	0,0001123	0,000443044	24583,43
		25,5	10,2	17671	2,55	0,0319	0,0001063	0,000429766	23652,52
		26,9	10,76	17671	2,69	0,0325	0,0001083	0,000441406	24228,94
	FAS 0,4	24,4	9,76	17671	2,44	0,0311	0,0001037	0,000420395	23111,32
		23,2	9,28	17671	2,32	0,0294	0,0000980	0,000409927	22312,94
		23,9	9,56	17671	2,39	0,0307	0,0001023	0,000416065	22853,93
	FAS 0,45	18,6	7,44	17671	1,86	0,0231	0,0000770	0,000367044	19238,43
		17,9	7,16	17671	1,79	0,023	0,0000767	0,000360071	18948,17
		20,3	8,12	17671	2,03	0,0251	0,0000837	0,000383451	20314,59
	FAS 0,5	16,1	6,44	17671	1,61	0,0157	0,0000523	0,000342553	16642,56
		16	6,4	17671	1,6	0,0146	0,0000487	0,000339367	16511,87
			14,9	5,96	17671	1,49	0,0132	0,0000440	0,000328515

Tabel 31 Uji Modulus Elastisitas Umur 14 Hari

Jenis Beton	Variasi Benda Uji	Uji Kuat Tekan	40% Fc	Luas Penaampang	Beban Awal	Δl (mm)	ϵ_1 (Δl)	ϵ_2	Modulus Elastisitas (ASTM C)
HVFA- Abu Batu 10%	FAS 0,3	31,3	12,52	17671	3,13	0,0344	0,0001147	0,000476	25977,05
		32,6	13,04	17671	3,26	0,0364	0,0001213	0,000486	26824,39
		33,1	13,24	17671	3,31	0,034	0,0001133	0,00049	26388,11
	FAS 0,35	29,1	11,64	17671	2,91	0,0337	0,0001123	0,000459	25175,33
		30,1	12,04	17671	3,01	0,0319	0,0001063	0,000467	25042,31
		28,1	11,24	17671	2,81	0,0325	0,0001083	0,000451	24590,83
	FAS 0,4	25,3	10,12	17671	2,53	0,0311	0,0001037	0,000428	23396,26
		24,7	9,88	17671	2,47	0,0294	0,0000980	0,000423	22802,03
		25,2	10,08	17671	2,52	0,0307	0,0001023	0,000427	23268,89
	FAS 0,45	20,4	8,16	17671	2,04	0,0231	0,0000770	0,000384	19909,27
		21,4	8,56	17671	2,14	0,023	0,0000767	0,000394	20250,03
		21,1	8,44	17671	2,11	0,0251	0,0000837	0,000391	20600,96
	FAS 0,5	16,6	6,64	17671	1,66	0,0157	0,0000523	0,000347	16914,82
		16,6	6,64	17671	1,66	0,0146	0,0000487	0,000347	16706,75
		16,2	6,48	17671	1,62	0,0132	0,0000440	0,000343	16278,87

Tabel 32 Uji Modulus Elastisitas Umur 28 Hari

Jenis Beton	Variasi Benda Uji	Uji Kuat Tekan	40% Fc	Luas Penaampang	Beban Awal	Δl (mm)	ϵ_1 (Δl)	ϵ_2	Modulus Elastisitas (ASTM C)
HVFA- Abu Batu 10%	FAS 0,3	31,3	12,52	17671	3,13	0,0344	0,0001147	0,000434	29366,14
		32,6	13,04	17671	3,26	0,0364	0,0001213	0,000466	28349,45
		33,1	13,24	17671	3,31	0,034	0,0001133	0,000454	29148,38
	FAS 0,35	29,1	11,64	17671	2,91	0,0337	0,0001123	0,000443	26370,76
		30,1	12,04	17671	3,01	0,0319	0,0001063	0,000441	27012,25
		28,1	11,24	17671	2,81	0,0325	0,0001083	0,000411	27820,37
	FAS 0,4	25,3	10,12	17671	2,53	0,0311	0,0001037	0,000418	24125,40
		24,7	9,88	17671	2,47	0,0294	0,0000980	0,000399	24584,43
		25,2	10,08	17671	2,52	0,0307	0,0001023	0,000419	23873,83
	FAS 0,45	20,4	8,16	17671	2,04	0,0231	0,0000770	0,000364	21353,74
		21,4	8,56	17671	2,14	0,023	0,0000767	0,000389	20542,93
		21,1	8,44	17671	2,11	0,0251	0,0000837	0,000369	22194,88
	FAS 0,5	16,6	6,64	17671	1,66	0,0157	0,0000523	0,000328	18093,04
		16,6	6,64	17671	1,66	0,0146	0,0000487	0,000341	17055,88
		16,2	6,48	17671	1,62	0,0132	0,0000440	0,000334	16736,14



Gambar 12 Modulus Elastisitas ASTM C

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas meningkat seiring bertambahnya umur beton. Hal ini sesuai dengan sifat beton yang proses hidrasi sementasnya terus berlangsung hingga mencapai kondisi optimum pada umur 28 hari dan membuktikan konsistensi antara kuat tekan beton dengan modulus elastisitas, semakin tinggi kuat tekan, semakin besar nilai modulus elastisitas.

Pada beton umur 7 hari nilai modulus elastisitasnya menunjukkan kekuatan awal beton yang masih berkembang, dengan nilai lebih rendah dibandingkan umur lanjut. Sedangkan, Beton umur 14 hari terjadi peningkatan modulus elastisitas seiring seiring bertambahnya umur beton. Beton umur 28 hari nilai modulus elastisitas mencapai modulus elastisitas tertinggi dibanding umur 7 hari dan 14 hari.

FAS (Faktor Air Semen) juga mempengaruhi modulus elastisitas yaitu semakin kecil FAS semakin rendah modulus elastisitasnya. FAS 0,5 memiliki modulus elastisitas terendah sekaligus kuat tekannya paling rendah. Sedangkan, untuk FAS 0,3 memiliki modulus elastisitas tertinggi.

Jadi, umur beton dan FAS (Faktor Air Semen) sangat mempengaruhi hasil pengujian kuat tekan maupun modulus elastisitas, maka butuh dilakukan pengendalian FAS agar dapat mencapai kuat tekan dan modulus elastisitas yang optimum.

KESIMPULAN

1. Pengaruh Faktor Air Semen terhadap Kuat Tekan

Semakin kecil nilai Faktor Air Semen (FAS), semakin besar kuat tekan beton yang dihasilkan. FAS 0,3 memberikan hasil kuat tekan tertinggi dibanding variasi lainnya. Hal ini disebabkan karena campuran beton menjadi lebih padat dengan porositas rendah, sehingga kekuatan meningkat secara signifikan.

Terdapat hubungan terbalik antara nilai slump dan kuat tekan beton. Semakin tinggi nilai slump (yang menunjukkan campuran lebih encer), semakin rendah kuat tekan beton. Ini menunjukkan bahwa pengaturan rasio air-semen sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara workability dan kekuatan.

Kuat tekan beton HVFA meningkat seiring bertambahnya umur. Pada umur 28 hari, semua variasi FAS mencapai kekuatan maksimum, menunjukkan bahwa beton HVFA dapat mencapai kekuatan yang baik jika diberi waktu yang cukup untuk mengeras.

2. Pengaruh FAS terhadap Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas beton meningkat seiring menurunnya FAS. Beton dengan FAS 0,3 dan 0,35 menunjukkan nilai modulus elastisitas yang tinggi pada umur 28 hari, menunjukkan beton yang lebih kaku dan tahan deformasi.

Perkembangan kuat tekan dan modulus elastisitas lebih cepat. Pada umur 14 hari, beton dengan variasi FAS 0,4–0,5 telah mencapai >90% kuat tekan dan modulus elastisitas pada umur 28 hari, yang menunjukkan bahwa proses pengerasan berlangsung lebih cepat daripada prediksi standar PBI. Hal ini dipengaruhi oleh efek pozzolanik Fly Ash 50%, efek filler dari abu batu 10% dan Sikament LN 1%.

3. FAS Optimal

Berdasarkan hasil pengujian, variasi FAS 0,3 sampai 0,35 direkomendasikan sebagai komposisi optimal untuk beton dengan campuran Fly Ash dan abu batu.

REFERENSI

- Ahmad, H. H., Yanuar, S. F., & ... (2022). Studi Pengaruh Jenis Semen Pada Campuran Beton 1: 2: 3. *Jurnal Rekayasa ...*, 74–77. <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/HEXAGON/article/download/9104/4381>
- Amalia Wildayati. (2019). *Analisis Kuat Tekan Beton Hvfya (High Volume FlyAsh) Dengan Variasi Campuran Limbah Abu Batu Stone Crusher*. 2011.
- Arizki, R., Sari, I., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2015). Pengaruh Jumlah Semen Dan Fas Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 68–76.
- Arumningsih, D., Joko Priyanto, K., & Gunarso. (2023). Inovasi Beton Ringan Dan Ekonomis Menggunakan Abu Sekam Padi, Serbuk Bata Ringan, Abu Batu. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 28(2), 54–60. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v28i2.2587>
- Budiman, & WTP, J. (2022). Penggunaan Abu Batu Sebagai Pengganti Sebagian Material Pasir. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 3(2), 40–43. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v3i2.418>
- Chain, S. (2018). *KUAT TEKAN BETON HVFA DI AIR GAMBUT*. 5(510), 51–57.
- Lianasari, E. (2017). Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kinerja Beton HVFA. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 11(April), 26–27. <https://www.researchgate.net/publication/340502792>
- Mhd Almahi, Yelfidar, S. H. R. (2023). *Pengaruh Penambahan Abu Batu Terhadap Mix Design Campuran Beton K-225*. 1(1).
- Soelarso, S., & Baehaki, B. (2016). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2).
- WIBOWO, R. G. (2022). Pengaruh Umur Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal dan HVFA-SCC. *JURNAL PILAR TEKNOLOGI Jurnal Ilmiah Ilmu Ilmu Teknik*, 7(1), 32–39. <https://doi.org/10.33319/piltek.v7i1.119>
- Rosie Arizki Intan Sari Steenie E. Wallah, Reky S. Windah (2015). PENGARUH JUMLAH SEMEN DAN FAS TERHADAP KUAT TEKAN BETON DENGAN AGREGAT YANG BERASAL DARI SUNGAI.
- Hermansyah1, Lia Alifia P. Laja2*, St. Annisa3 (2022) “PENGARUH VARIASI FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON DENGAN BAHAN TAMBAH ABU BONGGOL JAGUNG”.
- Angelina Eva Lianasari (2023), “STUDI PUSTAKA POTENSI HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETE SEBAGAI MATERIAL BETON YANG SUSTAINABLE UNTUK DITERAPKAN DI Indonesia”.
- Amir Mukhiils1, Agustiar2, Giovanni3, Nassrudin4, (2022). “Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Abu Cangkang”.
- YEDA FEBRY ANANDA (2017). PENGARUH WAKTU CAMPUR DAN FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON 1 HARI DENGAN BAHAN TAMBAH FLY ASH ABU LIMBAH BATU BARA
- Yusverison Andika1, Jessica Debora Dimalouw 2 “PENGARUH PENGGUNAAN SIKAMENT® LN TERHADAP PENGURANGAN JUMLAH KADAR AIR DAN KUAT TEKAN BETON”.
- SNI 1972:2008 “Tentang Cara Uji Slump”. Hak Cipta Badan Standarisasi Nasional.
- ASTM C 128-93 “Tentang Densitas, Densitas Relatif (Gravitasi Spesifik), dan Penyerapan Agregat Halus.”
- SNI 1970:2008 “Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus”. Hak Cipta Badan Standarisasi Nasional.



SNI 03-2834-1992 "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". Hak Cipta Badan Standarisasi Nasional.

ASTM C 29-91 "Metode Uji Berat Isi (Bulk Density) dan Rongga di dalam Agregat."

ASTM C 127-88 "Metode Uji Densitas, Berat Jenis (Specific Gravity), dan Penyerapan Air Agregat Kasar."

SNI 2847:2013 "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung". Hak Cipta Badan Standarisasi Nasional.

“PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971”

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.

Direktur Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan umum Dan Tenaga Listrik