

PENGARUH *FLY ASH* DAN *SILICA FUME* TERHADAP KUAT TEKAN BETON BERKINERJA TINGGI

Riswanda Shofansa¹, Nawir Rasidi²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: rshofansa@gmail.com¹, nawir.rasidi@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus berkembang dengan pesat, sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan struktur bangunan yang lebih kokoh, tahan lama, dan mampu menghadapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks. Salah satu solusi untuk menghadapi tantangan tersebut adalah pemanfaatan beton dengan kinerja tinggi (*High Performance Concrete*, HPC). Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja beton adalah dengan menggunakan bahan pozolan seperti *fly ash* dan *silica fume*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh *fly ash* dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton berkinerja tinggi. Penelitian ini dilakukan melalui metode eksperimen di Laboratorium Beton, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 15 × 30 cm dengan variasi *fly ash* dan *silica fume* masing-masing sebesar 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % dari total *binder*. Hasil pengujian slump menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* secara signifikan meningkatkan nilai slump, sedangkan *silica fume* menurunkannya. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan penggunaan *fly ash* dan *silica fume* secara umum memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton berkinerja tinggi. Kuat tekan tertinggi sebesar 85,99 MPa diperoleh pada campuran tanpa *fly ash* dan dengan *silica fume* 5%. Penggunaan *fly ash* cenderung menurunkan kuat tekan beton, namun kombinasi *fly ash* dan *silica fume* tetap mampu menghasilkan kuat tekan di atas 60 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *fly ash* bersifat pozolanik dengan reaktivitas yang lebih lambat, kehadiran *silica fume* dapat membantu meningkatkan kinerja beton melalui efek *filler* dan reaksi sekunder pozolanik. Analisis biaya menunjukkan bahwa penggunaan *silica fume* meningkatkan biaya, sedangkan *fly ash* dapat menurunkan biaya campuran beton.

Kata kunci : Beton berkinerja tinggi, pozolan, abu terbang, asap silika, kuat tekan.

ABSTRACT

Indonesia's rapid infrastructure development has increased the demand for stronger, more durable structures that can withstand complex environmental conditions. One solution to address these challenges is the utilization of High-Performance Concrete (HPC). One way to improve concrete performance is by using pozzolanic materials such as fly ash and silica fume. Therefore, this study was conducted to identify the effect of fly ash and silica fume on the compressive strength of HPC. The research was carried out through experimental methods at the Concrete Laboratory, Civil Engineering Department, State Polytechnic of Malang, using cylindrical specimens with variations of fly ash and silica fume of 0%, 5%, 10%, and 15% of the total binder. The slump test results showed that the addition of fly ash tended to increase the slump value, while silica fume reduced it. The results of the compressive strength test showed that the use of fly ash and silica fume generally affects the compressive strength of high-performance concrete. The highest compressive strength, 85.99 MPa, was achieved in the mixture without fly ash and with 5% silica fume. The use of fly ash tends to decrease the compressive strength of concrete. However, the combination of fly ash and silica fume is still able to produce compressive strengths above 60 MPa. This indicates that although fly ash is a pozzolanic material with slower reactivity, the presence of silica fume can help improve concrete performance through its filler effect and secondary pozzolanic reaction. Cost analysis showed that the use of silica fume increased the cost, while fly ash had the potential to reduce the cost of the concrete mix.

Keywords : High-performance concrete (HPC), pozzolan, fly ash, silica fume, compressive strength.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus berkembang dengan pesat, sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan struktur bangunan yang lebih kokoh, tahan lama, dan mampu menghadapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks. Salah satu solusi untuk menghadapi tantangan tersebut adalah pemanfaatan beton dengan kinerja tinggi (High Performance Concrete, HPC). Beton dengan kualitas ini memiliki keunggulan seperti kekuatan yang tinggi, daya tahan yang tinggi di bawah pengaruh lingkungan, serta kemampuan mengurangi dimensi struktur tanpa mengorbankan kapasitasnya [1].

Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja beton adalah dengan menggunakan bahan pozolan seperti fly ash dan silica fume. Fly ash, sebagai limbah dari pembakaran batubara, memiliki sifat pozolanik yang mampu meningkatkan kekuatan beton dalam jangka panjang [2]. Sedangkan silica fume, dengan ukuran partikelnya yang sangat halus dan kandungan silika aktif yang tinggi, dapat mengisi rongga-rongga mikro dalam beton sehingga meningkatkan kekuatan tekan dan ketahanannya terhadap lingkungan agresif [3].

Sungsang dkk. [4] meneliti pengaruh fly ash hingga 40% pada beton mutu tinggi menggunakan *high-range water reducer* dan mendapatkan peningkatan kuat tekan hingga 63,32 MPa pada kadar 30% fly ash. Sementara itu, Fernando dkk. [5] mengevaluasi kombinasi fly ash dan silica fume sebagai substitusi semen, dengan hasil optimal pada variasi fly ash 20% dan silica fume 8% yang mampu mencapai kuat tekan 67,93 MPa.

Berdasarkan temuan-temuan tersebut, terlihat bahwa fly ash dan silica fume memiliki potensi besar dalam meningkatkan performa beton, baik secara individu maupun kombinasi. Meski demikian, studi mengenai variasi proporsi keduanya secara sistematis masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki pengaruh kombinasi fly ash dan silica fume dalam variasi proporsi bertahap dan seimbang sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton berkinerja tinggi, guna memperkaya data eksperimental bagi pengembangan material beton yang lebih optimal.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang untuk mengkaji pengaruh fly ash dan silica fume terhadap kuat tekan beton berkinerja tinggi (High Performance Concrete, HPC). Penelitian dilakukan dengan merancang 16 variasi campuran beton yang terdiri atas fly ash dan silica fume sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari total binder secara individu maupun kombinasi.

Material

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas semen, agregat halus, bahan tambah pozolan (fly ash dan silica fume), air, dan superplasticizer. Semen yang digunakan adalah Portland Composite Cement (PCC). Superplasticizer yang digunakan merupakan tipe naphthalene sulfonate (Sikament LN) untuk meningkatkan workability tanpa menambah kadar air. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Lumajang, sedangkan agregat kasar dari Pasuruan.

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini merupakan fly ash kelas F yang diperoleh dari penjual lokal dengan keterangan berasal dari PLTU Paiton, Jawa Timur. Berdasarkan hasil uji X-Ray Fluorescence (XRF), fly ash tersebut memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 sebesar 70,8%, sehingga memenuhi klasifikasi fly ash kelas F sesuai ASTM C618. Adapun silica fume yang digunakan adalah produk komersial SikaFume. Berdasarkan hasil uji XRF silica fume tersebut mengandung 87,6% SiO_2 . Hasil ini memenuhi syarat minimum 85% SiO_2 sesuai standar ASTM C1240.

Desain Campuran

Beton dirancang dengan rasio air terhadap semen (w/c) tetap untuk seluruh variasi. Fly ash dan silica fume digunakan sebagai bahan substitusi sebagian semen, dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% masing-masing, serta kombinasi keduanya dengan jumlah total binder yang tetap. Total terdapat 16 variasi campuran beton. Rincian proporsi material untuk seluruh variasi ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Desain campuran beton

Variasi	Air (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Superplasticizer (kg/m ³)
N	192	651	982	599	0	0	8
F0S5	192	651	982	569	0	30	8
F0S10	192	651	982	539	0	60	8
F0S15	192	651	982	509	0	90	8
F5S0	192	651	982	569	30	0	8
F5S5	192	651	982	539	30	30	8
F5S10	192	651	982	509	30	60	8

Variasi	Air (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Superplasticizer (kg/m ³)
F5S15	192	651	982	479	30	90	8
F10S0	192	651	982	539	60	0	8
F10S5	192	651	982	509	60	30	8
F10S10	192	651	982	479	60	60	8
F10S15	192	651	982	449	60	90	8
F15S0	192	651	982	509	90	0	8
F15S5	192	651	982	479	90	30	8
F15S10	192	651	982	449	90	60	8
F15S15	192	651	982	419	90	90	8

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh penggunaan *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap nilai slump, kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari, serta efisiensi biaya campuran. Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) bahan untuk masing-masing variasi campuran beton berkinerja tinggi.

Hasil Pengujian Agregat

Pengujian dilakukan terhadap agregat halus asal Lumajang dan agregat kasar asal Pasuruan untuk mengetahui gradasi, berat jenis, dan kadar airnya. Hasil dari pengujian ini menjadi dasar dalam perancangan campuran beton agar sesuai dengan karakteristik material yang digunakan.

Tabel 2. Hasil uji gradasi pasir

Lubang Saringan (mm)	% Komulatif	
	Tertahan	Tembus
37,5	0,00	100,00
19,00	0,06	99,94
9,50	0,30	99,70
4,75	2,50	97,50
2,36	9,03	90,97
1,18	28,01	71,99
0,60	53,48	46,52
0,30	76,34	23,66
0,15	87,19	12,81
Pan	100,00	0,00
Modulus Kehalusan		2,57

Dari pengujian gradasi agregat halus, pasir lumajang yang digunakan pada penelitian ini masuk ke dalam **Zona 2**.

Tabel 3. Hasil uji gradasi kerikil

Lubang Saringan (mm)	% Komulatif	
	Tertahan	Tembus
37,5	0,00	100,00
19,00	0,80	99,20
9,50	79,15	20,85
4,75	99,01	0,99

Lubang Saringan (mm)	% Komulatif	
	Tertahan	Tembus
2,36	99,12	0,88
1,18	99,14	0,86
0,60	99,18	0,82
0,30	99,24	0,76
0,15	99,25	0,75
Pan	100,00	0,00
Modulus Kehalusan		6,75

Dari pengujian analisis saringan agregat kasar, diperoleh ukuran maksimum kerikil pasuruan yang digunakan pada penelitian ini sebesar **20 mm**.

Tabel 4. Hasil uji berat jenis dan penyerapan pasir

Pengujian	Benda Uji		Rerata
	I	II	
Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,690	2,672	2,681
Berat Jenis SSD	2,711	2,694	2,703
Berat Jenis Semu	2,748	2,732	2,740
Penyerapan	0,786	0,827	0,806

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus, didapatkan berat jenis SSD pasir sebesar **2,703 gr/cm³** dan penyerapan sebesar **0,806 %**.

Tabel 5. Hasil uji berat jenis dan penyerapan kerikil

Pengujian	Benda Uji		Rerata
	I	II	
Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,819	2,763	2,791
Berat Jenis SSD	2,860	2,805	2,832
Berat Jenis Semu	2,938	2,883	2,911
Penyerapan	1,442	1,506	1,474

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, didapatkan berat jenis SSD kerikil sebesar **2,832 gr/cm³** dan penyerapan sebesar **1,474 %**.

Tabel 6. Hasil uji kadar air pasir

Pengujian	Benda Uji		Rerata
	I	II	

Kadar Air	4,48	4,36	4,42
-----------	------	------	------

Dari pengujian kadar air agregat halus, didapatkan nilai kadar air pasir lumajang yang digunakan pada penelitian ini sebesar **4,42 %**.

Tabel 7. Hasil uji kadar air kerikil

Pengujian	Benda Uji		Rerata
	I	II	
Kadar Air	1,25	1,29	1,27

Dari pengujian kadar air agregat kasar, didapatkan nilai kadar air kerikil pasuruan yang digunakan pada penelitian ini sebesar **1,27 %**.

Hasil Uji X-Ray Fluorescence (XRF)

Uji komposisi kimia dilakukan terhadap *fly ash* dan *silica fume* menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF). Tujuannya adalah memastikan bahwa kedua bahan tambahan tersebut memenuhi spesifikasi standar dan dapat berfungsi sebagai material pozolan yang aktif dalam campuran beton.

Tabel 8. Hasil uji XRF *fly ash*

Komposisi Kimia	Kandungan
Silikon Dioksida (SiO_2)	32,8 %
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	11 %
Ferri Oksida (Fe_2O_3)	27 %
Total	70,8 %

Berdasarkan hasil uji X-Ray Fluorescence (XRF), *fly ash* yang digunakan memiliki kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70 %. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* tersebut termasuk dalam kategori Tipe F sesuai dengan standar ASTM C618.

Tabel 9. Hasil uji XRF *silica fume*

Komposisi Kimia	Kandungan
Silikon Dioksida (SiO_2)	87,6 %
Sulfur Trioksida (SO_3)	1,6 %
Kalium Oksida (K_2O)	3,42 %
Kalsium Oksida (CaO)	2,13 %
Mangan Oksida (MnO)	0,42 %
Ferri Oksida (Fe_2O_3)	4,03 %

Berdasarkan hasil uji X-Ray Fluorescence (XRF), *silica fume* mengandung silika (SiO_2) sebesar 87,6%. Hasil ini memenuhi syarat minimum 85% SiO_2 sesuai standar ASTM C1240.

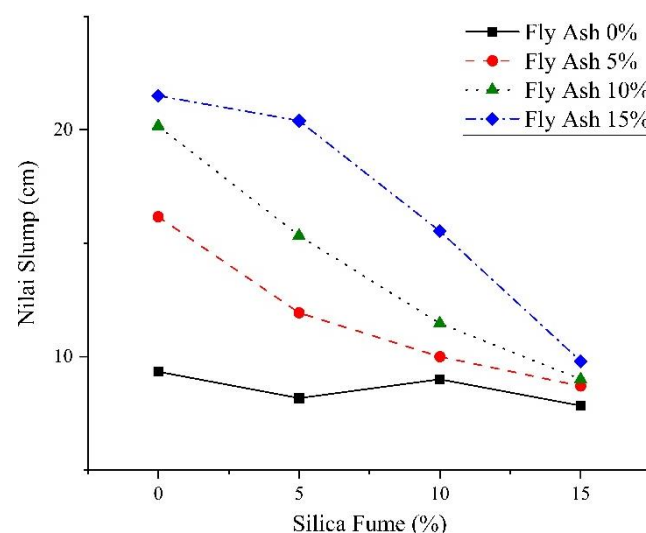
Hasil Uji Slump

Slump merupakan salah satu parameter penting untuk mengevaluasi *workability* atau kelecakan beton segar. Pada penelitian ini, pengujian slump dilakukan untuk setiap variasi campuran *fly ash* dan *silica fume*, guna mengetahui pengaruh penggunaan bahan tersebut terhadap sifat beton segar. Hasil

pengujian slump dapat dilihat pada **Tabel 10** dan grafik hubungan antara prosentase *fly ash* dan *silica fume* terhadap nilai slump dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tabel 10. Hasil uji slump

Variasi	Nilai Slump (cm)	Variasi	Nilai Slump (cm)
N	9,3	F10S0	20,2
F0S5	8,2	F10S5	15,3
F0S10	9,0	F10S10	11,5
F0S15	7,8	F10S15	9,0
F5S0	16,2	F15S0	21,5
F5S5	11,9	F15S5	20,4
F5S10	10,0	F15S10	15,5
F5S15	8,7	F15S15	9,8



Gambar 1. Hubungan *fly ash* dan *silica fume* dengan slump

Dari hasil pengujian didapatkan nilai slump tertinggi terjadi pada campuran dengan *fly ash* 15% dan tanpa *silica fume*, yaitu sebesar 21,5 cm, sedangkan nilai slump terendah terjadi pada campuran dengan *fly ash* 0% dan *silica fume* 15%, yaitu sekitar 7,8 cm.

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa secara umum, peningkatan kadar *silica fume* cenderung menurunkan nilai slump. Penurunan nilai slump seiring dengan penambahan *silica fume* dapat disebabkan oleh sifat *silica fume* yang sangat halus, sehingga meningkatkan luas permukaan partikel dan kebutuhan air campuran. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Preetha dkk. [6], yang menyatakan bahwa penambahan *silica fume* mengurangi kelecakan karena memiliki kehalusan tinggi yang menyebabkan konsistensi normal yang tinggi. Sedangkan *fly ash* cenderung meningkatkan nilai slump pada beton segar. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Van Nguyen dkk. [7], yang menyatakan bahwa *fly ash* dapat

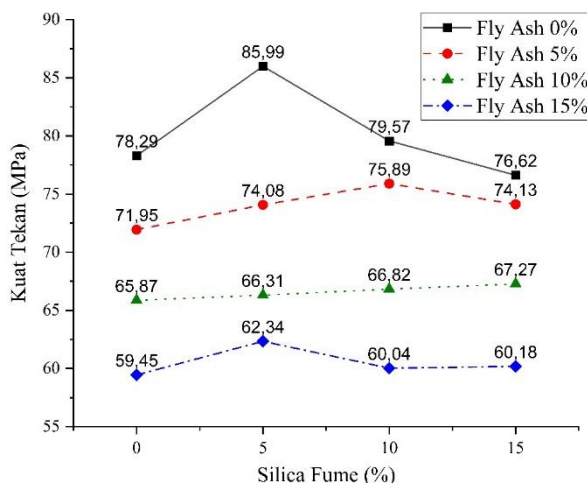
meningkatkan kelecakan beton segar karena memiliki partikel yang halus dan berbentuk bola daripada semen yang lebih bersudut.

Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk menilai performa beton berkinerja tinggi pada setiap variasi campuran fly ash dan silica fume. Nilai kuat tekan dari tiap variasi kemudian dirata-rata dan dijadikan dasar dalam analisis hasil dan pembahasan.

Tabel 11. Kuat tekan rata-rata beton

Variasi	Kuat Tekan (Mpa)			Rerata (Mpa)
	Umur 14 Konversi 28	BU 1	BU 2	
N	80,45	76,24	78,18	78,29
F0S5	88,97	87,98	81,01	85,99
F0S10	79,39	80,20	79,12	79,57
F0S15	77,26	75,31	77,28	76,62
F5S0	70,07	74,23	71,55	71,95
F5S5	73,56	74,32	74,36	74,08
F5S10	77,10	74,93	75,65	75,89
F5S15	77,22	73,06	72,10	74,13
F10S0	57,66	68,75	71,19	65,87
F10S5	62,36	66,97	69,59	66,31
F10S10	69,61	64,61	66,25	66,82
F10S15	72,95	64,02	64,84	67,27
F15S0	45,45	66,54	66,36	59,45
F15S5	57,96	64,09	64,96	62,34
F15S10	57,71	62,35	60,05	60,04
F15S15	60,82	60,97	58,74	60,18



Gambar 2. Grafik fly ash dan silica fume vs kuat tekan

Rencana Anggaran Biaya

Analisis rencana anggaran biaya dilakukan untuk menilai efisiensi penggunaan bahan pada setiap variasi campuran

beton. Perhitungan dilakukan berdasarkan kebutuhan material untuk memproduksi 1 m³ beton.

Tabel 12. Anggaran biaya variasi N

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)	
Pasir	650,590	kg	Rp	108.021,91
Kerikil	981,844	kg	Rp	131.542,16
Semen	599,192	kg	Rp	853.848,16
SP	7,522	kg	Rp	188.043,77
Total			Rp	1.281.456,00

Tabel 13. Anggaran biaya variasi F0S5

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)	
Pasir	650,603	kg	Rp	108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp	131.542,16
Semen	569,232	kg	Rp	811.155,75
Silica fume	29,960	kg	Rp	449.393,77
SP	7,522	kg	Rp	188.043,77
Total			Rp	1.688.159,56

Tabel 14. Anggaran biaya variasi F0S10

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)	
Pasir	650,603	kg	Rp	108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp	131.542,16
Semen	539,273	kg	Rp	768.463,34
Silica fume	59,919	kg	Rp	898.787,53
SP	7,522	kg	Rp	188.043,77
Total			Rp	2.094.860,92

Tabel 15. Anggaran biaya variasi F0S15

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)	
Pasir	650,603	kg	Rp	108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp	131.542,16
Semen	509,313	kg	Rp	725.770,93
Silica fume	89,879	kg	Rp	1.348.181,30
SP	7,522	kg	Rp	188.043,77
Total			Rp	2.501.562,27

Tabel 16. Anggaran biaya variasi F5S0

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)	
Pasir	650,603	kg	Rp	108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp	131.542,16
Semen	569,232	kg	Rp	811.155,75
Fly ash	29,960	kg	Rp	20.222,72
SP	7,522	kg	Rp	188.043,77
Total			Rp	1.258.988,51

Tabel 17. Anggaran biaya variasi F5S5

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)	
Pasir	650,603	kg	Rp	108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp	131.542,16
Semen	539,273	kg	Rp	768.463,34

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
<i>Fly ash</i>	29,960	kg	Rp 20.222,72
<i>Silica fume</i>	29,960	kg	Rp 449.393,77
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 1.665.689,87

Tabel 18. Anggaran biaya variasi F5S10

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	509,313	kg	Rp 725.770,93
<i>Fly ash</i>	29,960	kg	Rp 20.222,72
<i>Silica fume</i>	59,919	kg	Rp 898.787,53
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 2.072.391,23

Tabel 19. Anggaran biaya variasi F5S15

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	479,353	kg	Rp 683.078,53
<i>Fly ash</i>	29,960	kg	Rp 20.222,72
<i>Silica fume</i>	89,879	kg	Rp 1.348.181,30
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 2.479.092,59

Tabel 20. Anggaran biaya variasi F10S0

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	539,273	kg	Rp 768.463,34
<i>Fly ash</i>	59,919	kg	Rp 40.445,44
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 1.236.518,82

Tabel 21. Anggaran biaya variasi F10S5

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	509,313	kg	Rp 725.770,93
<i>Fly ash</i>	59,919	kg	Rp 40.445,44
<i>Silica fume</i>	29,960	kg	Rp 449.393,77
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 1.643.220,18

Tabel 22. Anggaran biaya variasi F10S10

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	479,353	kg	Rp 683.078,53
<i>Fly ash</i>	59,919	kg	Rp 40.445,44

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
<i>Silica fume</i>	59,919	kg	Rp 898.787,53
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 2.049.921,54

Tabel 23. Anggaran biaya variasi F10S15

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	449,394	kg	Rp 640.386,12
<i>Fly ash</i>	59,919	kg	Rp 40.445,44
<i>Silica fume</i>	89,879	kg	Rp 1.348.181,30
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 2.456.622,90

Tabel 24. Anggaran biaya variasi F15S0

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	509,313	kg	Rp 725.770,93
<i>Fly ash</i>	89,879	kg	Rp 60.668,16
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 1.214.049,13

Tabel 25. Anggaran biaya variasi F15S5

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	479,353	kg	Rp 683.078,53
<i>Fly ash</i>	89,879	kg	Rp 60.668,16
<i>Silica fume</i>	29,960	kg	Rp 449.393,77
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 1.620.750,49

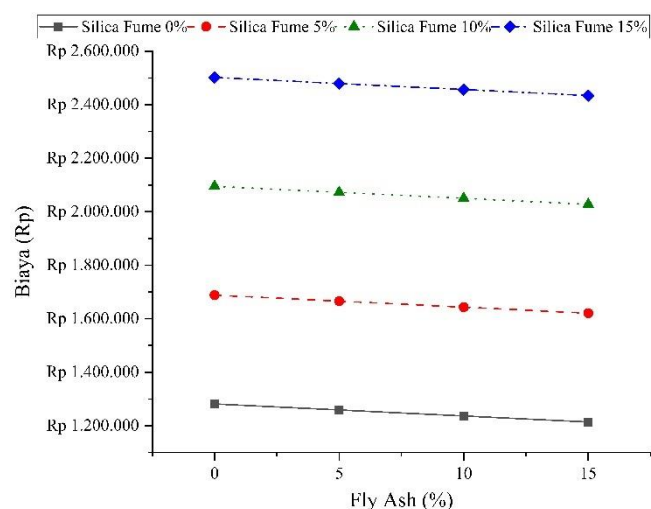
Tabel 26. Anggaran biaya variasi F15S10

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	449,394	kg	Rp 640.386,12
<i>Fly ash</i>	89,879	kg	Rp 60.668,16
<i>Silica fume</i>	59,919	kg	Rp 898.787,53
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 2.027.451,85

Tabel 27. Anggaran biaya variasi F15S15

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pasir	650,603	kg	Rp 108.024,11
Kerikil	981,844	kg	Rp 131.542,16
Semen	419,434	kg	Rp 597.693,71
<i>Fly ash</i>	89,879	kg	Rp 60.668,16
<i>Silica fume</i>	89,879	kg	Rp 1.348.181,30

Material	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
SP	7,522	kg	Rp 188.043,77
Total			Rp 2.434.153,21



Gambar 3. Pengaruh *fly ash* dan *silica fume* terhadap biaya

Berdasarkan hasil perhitungan rencana anggaran biaya, variasi F0S15 memiliki total biaya bahan tertinggi, yaitu sebesar Rp 2.501.562,27, sedangkan variasi F15S0 memiliki biaya terendah sebesar Rp 1.214.049,13. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan *silica fume* secara signifikan meningkatkan biaya campuran beton karena harganya yang relatif tinggi. Sebaliknya, penggunaan *fly ash* dapat menekan biaya karena harganya yang lebih ekonomis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh *fly ash* dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton berkinerja tinggi, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil pengujian slump menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* cenderung meningkatkan nilai slump, sementara *silica fume* menurunkan nilai slump pada campuran beton. Variasi F15S0 menghasilkan nilai slump tertinggi, yaitu sebesar 21,5 cm, sedangkan variasi F0S15 memiliki nilai slump terendah sebesar 7,8 cm. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* cenderung meningkatkan kelecakan (*workability*), sedangkan *silica fume* menurunkan *workability*.
- Penggunaan *fly ash* dan *silica fume* secara umum memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton berkinerja tinggi. Kuat tekan tertinggi sebesar 85,99 MPa diperoleh pada campuran tanpa *fly ash* dan dengan *silica fume* 5%. Penggunaan *fly ash* cenderung menurunkan kuat tekan beton, namun kombinasi *fly ash* dan *silica fume* tetap mampu menghasilkan kuat tekan di atas 60 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *fly ash* bersifat pozolanik dengan reaktivitas yang lebih lambat, kehadiran *silica fume* dapat membantu meningkatkan

kinerja beton melalui efek *filler* dan reaksi sekunder pozolanik.

- Berdasarkan hasil perhitungan rencana anggaran biaya, diperoleh bahwa penggunaan variasi *fly ash* dan *silica fume* memberikan pengaruh terhadap total biaya bahan campuran beton. Variasi F0S15 memiliki total biaya bahan tertinggi, yaitu sebesar Rp 2.501.562,27, sedangkan variasi F15S0 memiliki biaya terendah sebesar Rp 1.214.049,13. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan *silica fume* secara signifikan meningkatkan biaya, sementara *fly ash* dapat menurunkan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- T. Zdeb, "Ultra-high performance concrete-properties and technology," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, vol. 61, no. 1, hlm. 183–193, Mar 2013, doi: 10.2478/bpasts-2013-0017.
- ACI Committee 232, "Use of Fly Ash in Concrete (ACI 232.2r-96)," 1996.
- ACI Committee 234, "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete (ACI 234R-06)," 2006.
- A. Sungsang, N. Patria, dan F. Haikal, "Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Admixture High Range Water Reducer," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 15, no. 2, hlm. 12–22, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal2.untagsmg.ac.id/index.php/JTS>
- R. Fernando, L. Sulaiman, Raditya, G. Adya Taurano, dan T. Hakim, "Evaluasi Kekuatan Beton Mutu Tinggi dengan Menggunakan Kombinasi Fly Ash dan Silica Fume Sebagai Substitusi Semen," *ORBITH*, vol. 20, no. 3, hlm. 245–255, 2024.
- V. Preetha, Sathyapriyadharshini, Sarguna, dan Senthamilselvan, "Studies on Effect of Silica Fume on Workability and Strength of Concrete," *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, vol. 1, no. 6, hlm. 165–171, Nov 2019, doi: 10.34256/irjmtcon21.
- C. Van Nguyen, P. Lambert, dan Q. H. Tran, "Effect of Vietnamese fly ash on selected physical properties, durability and probability of corrosion of steel in concrete," *Materials*, vol. 12, no. 4, Feb 2019, doi: 10.3390/ma12040593.