

PENGARUH FLY ASH DAN ZEOLIT SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Aulya Firdaus¹, Sugeng Riyanto², Aulia Rahman³

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

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

firdausulya91@gmail.com¹, sugeng.riyanto@polinema.ac.id², aulia.rahman@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan infrastruktur mendorong inovasi dalam rekayasa struktur, khususnya dibidang teknologi bahan bangunan. Salah satu komponen utama dalam konstruksi adalah beton. Industri beton terus mencari strategi untuk meningkatkan sifat bahan semen dan meminimalkan biaya pembuatan beton. Salah satu caranya adalah dengan penggunaan bahan pozzolan seperti fly ash dan zeolit sebagai bahan substitusi semen. Pada Penelitian ini dilakukan analisis perubahan karakteristik beton dengan penambahan fly ash dan zeolit sebagai pengganti semen. Sampel penelitian ini berjumlah 15 benda uji silinder untuk setiap variasi 0%, FA 5% + Z 12.5%, FA 10% + Z 12.5%, dan FA 15% + Z 12.5% dengan umur rencana 7, 14, 28 hari. Menurut SNI 03-2834-2000 standar kuat tekan beton normal sebesar 22.5 Mpa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton maksimum dicapai pada variasi campuran FA 10% + Z 12.5% pada umur 28 hari, yaitu sebesar 21.08 Mpa. Biaya pembuatan beton dengan campuran variasi fly ash dan zeolit lebih murah dibandingkan dengan beton normal. Biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan beton normal adalah Rp 131.036,77, dan beton variasi FA 10% + Z 12.5% sebesar Rp 123.266,17. Berdasarkan hasil uji anova, umur dan variasi campuran beton berpengaruh pada kuat tekan beton, sedangkan interaksinya tidak berpengaruh pada kuat tekan beton.

Kata kunci : fly ash, zeolit, kuat tekan, uji anova, anggaran biaya.

ABSTRACT

The development of infrastructure encourages innovation in structural engineering, especially in the scope of building materials technology. One of the main components in construction is concrete. The concrete industry continues to find strategies to improve the properties of cementitious materials and minimize the cost of make concrete. One way is to use pozzolanic materials such as fly ash and zeolite as cement substitutes. In this study, changes in concrete characteristics with the addition of fly ash and zeolite as cement substitutes were analysed. The samples of this study amounted to 15 cylindrical specimens for each variation of 0%, FA 5% + Z 12.5%, FA 10% + Z 12.5%, and FA 15% + Z 12.5% with a planned age of 7, 14, 28 days. According to SNI 03-2834-2000 the standard compressive strength of normal concrete is 22.5 Mpa. The results showed that the maximum concrete compressive strength value was achieved in the FA 10% + Z 12.5% mix variation at the age of 28 days, which was 21.08 Mpa. Cost of make concrete with a mixture of fly ash and zeolite variations is cheaper than normal concrete. The cost required for making normal concrete is Rp 131,036.77, and the concrete variation of FA 10% + Z 12.5% is Rp 123,266.17. Based on the results of the anova test, the age and variety of concrete mixtures have an effect on the compressive strength of concrete, while their interaction has no effect on the compressive strength of concrete.

Keywords : fly ash, zeolite, compressive strength, anova test, budget of cost.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan infrastruktur diharapkan dapat mendorong terciptanya inovasi dalam rekayasa struktur, khususnya di bidang teknologi bahan bangunan. Inovasi ini bertujuan untuk menghasilkan material struktur yang mempunyai sifat yang optimal dengan biaya yang ekonomis. Pada industri beton terus berupaya mencari strategi untuk meningkatkan sifat bahan semen dan mengurangi dampaknya terhadap lingkungan. Penggunaan bahan pozzolan atau limbah industri dapat digunakan untuk menggantikan sebagian semen, sehingga meminimalkan jejak karbon pada struktur beton. Beberapa bahan pelengkap seperti zeolit, *fly ash*, silika fume, dan metakaolin telah digunakan secara luas untuk mengurangi permeabilitas beton. Sehingga, memiliki peran penting dalam meningkatkan ketahanan dan kekuatan beton (Shekarchi dkk., 2023). Dalam upaya menghadapi masalah lingkungan, penerapan *fly ash* dan zeolit sebagai bahan pozzolan untuk mengurangi kandungan semen, sehingga berdampak positif terhadap lingkungan.

Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen terus dilakukan karena tingginya kandungan dalam *fly ash* adalah alasan utama tingginya indeks pozzolan. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit, ukuran partikel *fly ash* biasanya berkisar 0.01 hingga 200 mm (Panda & Dash, 2020).

Zeolit sebagai salah satu mineral yang melimpah di industri pertambangan Indonesia yang memiliki potensi besar sebagai bahan pozzolan. Secara umum, semakin tinggi pergantian semen dengan zeolit maka kuat tekannya akan semakin rendah. Namun, presentase penurunan resistensi umumnya menurun seiring bertambahnya usia semen (Domínguez dkk., 2018). Melalui hasil uji laboratorium bahwa bubuk zeolit ini mengandung unsur utama natrium (Na_2O), magnesium (MgO), kalsium (CaO), mangan (Mn), dan silika (SiO_2) yang merupakan unsur pembentuk semen (Iswarya & Beulah, 2021).

Dari uraian diatas, diduga penggunaan *fly ash* dan zeolit sebagai substitusi semen dapat meningkatkan kuat tekan beton. dengan tujuan mengevaluasi kinerja campuran beton, baik dari segi kemampuan kerja, kekuatan, dan daya tahan. Ketentuan ini menjadi dasar penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* dan zeolit sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton normal. Produk sampel dari penelitian ini adalah berupa rancangan benda uji beton sebanyak 60 buah. Perancangan campuran beton menggunakan referensi SNI 03-2834-2000. Sampel penelitian untuk setiap variasi 0%, *fly ash* 5% + zeolit 12.5%, *fly ash* 10% + zeolit 12.5%, dan *fly ash* 15% + zeolit 12.5%.

2. METODE

Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Pengambilan *fly ash* dilakukan di PT PLN Nusantara UP Paiton, sedangkan Zeolit yang digunakan adalah zeolite powder yang berasal dari Malang. Metode penelitian yang digunakan untuk mendapatkan hasil atau data-data variabel yang diteliti. Benda uji penelitian berbentuk silinder dengan jumlah masing-masing 15 benda uji di setiap variasi. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Persiapan Material

Melakukan persiapan material yang akan digunakan dalam pengujian juga pembuatan benda uji. Adapun material yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Semen
Semen yang digunakan sebagai bahan pengikat pada penelitian ini menggunakan jenis semen Portland Pozzolan Cement (PPC) merk Semen Gresik dengan berat 40 kg/ zak, yang dapat diperoleh dari toko bangunan.
2. Agregat Halus
Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pasir cor Lumajang.
3. Agregat Kasar
Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah Malang dengan ukuran maksimal 20mm.
4. Air
Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang.
5. Bahan Tambahan (Zeolit)
Zeolit yang digunakan sebagai substitusi semen dalam penelitian ini merupakan zeolit powder yang berasal dari Malang.
6. Bahan Tambahan (*Fly Ash*)
Fly ash yang digunakan sebagai substitusi semen dalam penelitian ini yang berasal dari PLTU Paiton.

Pengujian Sifat Fisik Agregat

Pengujian sifat fisik agregat ini dilakukan di Laboratorium Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang. Pengujian menggunakan standar SNI sebagai berikut :

- a. Agregat Kasar
 1. Analisa Saringan

2. Kadar Air
 3. Berat Jenis
 4. Kekerasan
 5. Berat Isi
- b. Agregat Halus
1. Analisa Saringan
 2. Kadar Air
 3. Berat Jenis
 4. Kadar Organik
 5. Berat Isi
- c. Tambahan (*Fly Ash* dan Zeolit)
1. Kehalusan Semen
 2. Berat Jenis semen

Setelah diperoleh semua hasil pengujian sifat fisik dan memenuhi dari standar setiap pengujian. Maka, dilakukan perencanaan campuran beton normal (mix design). Dalam perencanaan ini menggunakan standar dari SNI 03-2834-2000.

Setelah data hasil perencanaan campuran sudah tervalidasi dan material yang akan digunakan sudah tersedia. Maka dilakukan proses pengecoran. Pada proses ini ketika beton masih dalam kondisi segar dilakukan pengujian slump & berat isi. Setelah itu beton baru dipadatkan dalam silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 200 mm. Ketika beton sudah berumur 1 hari maka, silinder dapat dilepas dan beton melalui proses perawatan dengan direndam dalam kolam air selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari maka dilakukan proses pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 03-1974-2011 dengan persamaan sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Setelah, data hasil kuat tekan sudah diperoleh. Maka, dilanjutkan dengan analisis statistik untuk mengetahui pengaruh dari *fly ash* dan zeolit. Pada pengujian ini menggunakan Uji Anova Dua Arah. Karena, terdapat lebih dari satu faktor dan interaksinya yang dipertimbangkan.

Sebelum melakukan pengujian ini terlebih dahulu menyiapkan hipotesis pengujian sebagai berikut:

1. H0 = Umur beton tidak berpengaruh pada kuat tekan beton.
H1 = Umur beton berpengaruh pada kuat tekan beton.
2. H0 = Variasi beton tidak berpengaruh pada kuat tekan beton.
H1 = Variasi beton berpengaruh pada kuat tekan beton.
3. H0 = Interaksi umur dan variasi beton tidak berpengaruh pada kuat tekan beton.
H1 = Interaksi umur dan variasi beton berpengaruh pada kuat tekan beton.

Dalam menentukan hasil Uji Anova Dua Arah terdapat persamaan sebagai berikut;

H0 diterima = F hitung ≤ F tabel (2)

H1 diterima = F hitung ≥ F tabel (3)

Setelah itu menganalisis anggaran biaya dilakukan dengan tujuan menghitung biaya kebutuhan material beton. Biaya yang dihitung yaitu perbandingan biaya kebutuhan material tanpa *fly ash* dan zeolit dan biaya kebutuhan material beton dengan penambahan *fly ash* dan zeolit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Fisik Agregat

Pada pengujian sifat fisik agregat kasar material yang digunakan berupa kerikil Pasuruan. Dalam pengujian ini terdapat beberapa pengujian. yang dilakukan terdiri dari analisa saringan, kadar air, berat jenis, penyerapan, kekerasan, dan berat isi. Untuk hasil pengujian dijelaskan dalam **Tabel 1.**

Tabel 1. Hasil Uji Fisik Kerikil Pasuruan

Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Standar	Ket.
Analisa Saringan	Ukuran butir 20 mm	-	SNI 03-2834-2000	-
Modulus Kehalusan	6.98	5.0 - 8.0	ASTM C 136-01	OK
Kadar Air	2.86	1-5%	ASTM C-556-67	OK
Berat Jenis Kering	2.74	2.5-2.7	ASTM C-136-01	OK
Berat Jenis SSD	2.78			OK
Berat Jenis Semu	2.86			OK
Penyerapan	1.53		ASTM C-128-01	
Kekerasan	5.19	≤ 45%	ASTM C-29M-03	OK
Berat Isi Lepas	1.34	1.3-1.9	ASTM C-128-01	OK
Berat Isi Tumbuk	1.43			OK
Berat Isi Goyang	1.45			OK

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik agregat kasar pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kerikil Pasuruan secara keseluruhan memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton normal. Kemudian, untuk dilanjutkan pengujian sifat fisik agregat halus material yang digunakan berupa pasir Lumajang. Dalam pengujian ini terdapat beberapa pengujian yang dilakukan terdiri dari analisa saringan, kadar air, berat jenis, penyerapan, kadar organik, dan berat isi. Untuk hasil pengujian dijelaskan dalam **Tabel 2.**

Tabel 2. Hasil Uji Fisik Pasir Lumajang

Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Standar	Ket.
Analisa Saringan	Gradasi Zona 1	-	SNI 03-2834-2000	-
Modulus Kehalusan	3.33	1.5 - 3.8	SII.0052	OK
Kadar Air	3.87	1-5%	ASTM C-556-67	OK
Berat Jenis Kering	2.66	2.5-2.7	ASTM C-128-01	OK

Berat Jenis SSD	2.69			OK
Berat Jenis Semu	2.74			OK
Penyerapan	1.13		ASTM C-128-01	
Kadar Organik	Bening	Coklat	ASTM C-49-99	OK
Berat Isi Lepas	1.59 gr	1.3-1.9	ASTM C-29M-03	OK
Berat Isi Tumbuk	1.69 gr			OK
Berat Isi Goyang	1.70 gr			OK

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik agregat halus pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pasir Lumajang memenuhi semua persyaratan. Sehingga, agregat halus ini dapat digunakan menjadi agregat halus dalam perencanaan campuran beton normal.

Hasil Uji Bahan Substitusi

Pada pengujian material sifat fisik zeolit dilakukan beberapa pengujian diantaranya pengujian kehalusan zeolit, dan pengujian berat jenis. Untuk hasil pengujian dijelaskan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Uji Fisik Zeolit

Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Standar	Ket.
Kehalusan Zeolit	Tidak Lolos Saringan 100 - 200	Lolos Saringan 100 - 200	ASTM	Tidak OK
Berat Jenis	2.18	3.15	ASTM C-188	Tidak OK

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada pengujian kehalusan tidak memenuhi, karena butir semen yang lewat ayakan No 200 harus diatas 78%, dan pada saringan no 100 harus lolos 100%. Pengujian berat jenis semen menurut ASTM yang disyaratkan adalah 3.15 gr/cm³, namun kenyataan dilapangan nilai berat jenis semen berkisar antara 3.05 – 3.25 gr/cm³. Pada pengujian berat jenis zeolit didapatkan hasil 2.18 gr/cm³, sehingga berat jenis zeolit lebih rendah dari berat jenis semen Portland. Kemudian, untuk melakukan uji fisik kimia zeolit terlebih dahulu dilakukan pengujian XRF di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA, Universitas Negeri Malang. Pengujian XRF bertujuan untuk mengetahui kandungan secara kuantitatif yang terdapat pada zeolit. Hasil Pengujian XRF dijelaskan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Uji Kimia Zeolit

Oksidasi	Persen (%)
SiO ₂	67,2
Al ₂ O ₃	10
Fe ₂ O ₃	10,7
CaO	7,24
MnO	0,10
TiO ₂	0,952

Sumber : Hasil Pengujian

Pada unsur diatas dapat bereaksi dengan udara membentuk oksida yang hasilnya menjadi CaO, SiO₂, dan Al₂O₃. Hasil uji kimia ini beberapa telah sesuai dengan perbandingan bahan-bahan penyusun semen, yaitu penyusun utama semen Portland diantaranya memiliki kapur (CaO) sekitar 60-67%, Silika (SiO₂) sebesar 17-25%, alumina (Al₂O₃) sebesar 3-8%. Kemudian, untuk pengujian sifat fisik *fly ash* dilakukan beberapa pengujian diantaranya pengujian kehalusan *fly ash*, dan pengujian berat jenis. Untuk hasil pengujian dijelaskan dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Uji Fisik Fly Ash

Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Standar	Ket.
Kehalusan Fly Ash	Lolos saringan 100	Lolos Saringan 100 - 200	ASTM	Tidak OK
Berat Jenis	2.57	3.15	ASTM C-188	Tidak OK

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada pengujian kehalusan tidak memenuhi, karena butir semen yang lewat ayakan No 200 harus diatas 78%, dan pada saringan no 100 harus lolos 100%. Pengujian berat jenis semen menurut ASTM yang disyaratkan adalah 3.15 gr/cm³. Pada pengujian berat jenis zeolit didapatkan hasil 2.57 gr/cm³, sehingga berat jenis zeolit lebih rendah dari berat jenis semen Portland. Kemudian, untuk melakukan uji fisik kimia *fly ash* bertujuan untuk menentukan kelas dan mengetahui kimia *fly ash* sebagai bahan tambahan untuk campuran. Data sifat kimia *fly ash* didapatkan dari PT. PLN Nusantara Power UP Paiton. Hasil komposisi fly ash dapat dijelaskan dalam **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Uji Kimia Fly Ash

Parameter	Hasil (%)
Silikon Dioksida (SiO ₂)	40 %
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃)	23 %
Besi (III) Oksida (Fe ₂ O ₃)	16 %
Kalsium Oksida (CaO)	8 %
Magnesium Oksida (MgO)	4 %
Natrium Oksida (Na ₂ O)	2 %
Kalium Oksida (K ₂ O)	2 %

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia fly ash, dapat diketahui bahwa fly ash yang digunakan termasuk kelas F, karena jumlah dari kadar senyawa kimiawi (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) lebih dari 70% yaitu sebesar 79%. Penggolongan kelas tersebut diatur dalam ASTM C 618.

Setelah semua data untuk pengujian sifat fisik terkumpul. Maka, dilanjutkan dengan perencanaan campuran beton normal dengan SNI 03-2834-2000. Perencanaan campuran beton normal dijelaskan dalam **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Perencanaan Campuran Beton

Uraian	Nilai
Kuat Tekan yang disyaratkan	22.5 Mpa
Standar Deviasi	-
Nilai Tambah (margin)	12 Mpa
Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	34.5 Mpa

Jenis Semen	Tipe 2 (PPC)
Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah
Jenis Agregat Halus	Alami
Faktor Air Semen Bebas	0.52
Faktor Air Semen Maksimum	0.6
Slump	60-180 mm
Ukuran Agregat Maksimum	20 mm
Kadar Air Bebas	205 ltr/m ³
Jumlah Semen	394.04 Kg/m ³
Jumlah Semen Maksimum	-
Jumlah Semen Minimum	325 Kg/m ³
Faktor Air Semen yang Disesuaikan	-
Susunan Besar Butir Agregat Halus	Daerah Gradasi Zona 1
Susunan Agregat Kasar atau Gabungan	Daerah maks 20 mm
Persen Agregat Halus	48 %
Berat Jenis Relative, Agregat (kering permukaan)	2.73
Berat Isi Beton	2430 Kg/m ³
Kadar Agregat Gabungan	1831.06 Kg/m ³
Kadar Agregat Halus	878.91 Kg/m ³
Kadar Agregat Kasar	952.15 Kg/m ³
Jumlah Benda Uji	15 Silinder

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel diatas diperoleh hasil bahwa nilai kadar agregat gabungan sebesar 1831.06 Kg/m³. Kemudian, untuk menghitung berat setiap agregat dengan melakukan perkalian dengan persentase setiap agregat. Sehingga, diperoleh nilai untuk agregat halus 878.91 Kg/m³. dan agregat kasar sebesar 952.15 Kg/m³. Berikut dijelaskan jumlah material yang dibutuhkan dalam pembuatan 15 silinder pada masing-masing variasi.

Tabel 8. Tabel Kebutuhan Material

Variasi	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Air (ltr)	Semen (Kg)	Zeolit (Kg)	Fly Ash (Kg)
0%	71.78	76.70	13.37	31.33	-	-
FA 5% + Z 12.5%	71.78	76.70	13.37	25.84	3.92	1.57
FA 10% + Z 12.5%	71.78	76.70	13.37	24.28	3.92	3.13
FA 15% + Z 12.5%	71.78	76.70	13.37	22.71	3.92	4.70

Sumber : Hasil Pengujian

Setelah diperoleh jumlah material yang dibutuhkan untuk setiap variasi. Maka, dilakukan pengecoran dan melakukan pengujian slump. Untuk hasil pengujian slump dijelaskan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Tabel Hasil Uji Nilai Slump

Variasi	Uraian	Nilai Slump (cm)	rata-rata (cm)
0%	Pengecoran 1	5.6	6.4
	Pengecoran 2	7.1	
PC 82.5% + FA 5% + Z 12.5%	Pengecoran 1	7.1	6.9
	Pengecoran 2	6.6	
PC 77.5% + FA 10% + Z 12.5%	Pengecoran 1	5.8	5.9
	Pengecoran 2	6.1	
PC 72.5% + FA 15% + Z 12.5%	Pengecoran 1	5.5	5.8
	Pengecoran 2	6.1	

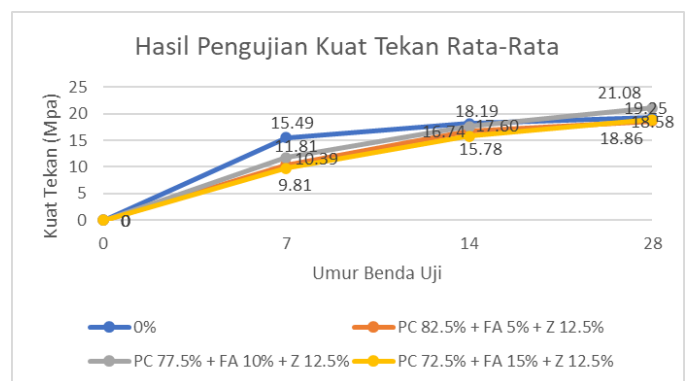
Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian slump untuk seluruh variasi memenuhi persyaratan. Setelah beton di cetak maka beton akan di bongkar pada usia 1 hari dan dilakukan proses curing. Proses curing dilakukan dengan merendam benda uji dalam kolam air selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Setelah masa curing selesai maka dilakukan pengujian kuat tekan. Hasil pengujian kuat tekan pada setiap umur dan variasi dijelaskan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi	Kuat Tekan (Mpa)		
	7	14	28
0%	15.49	18.19	19.25
PC 82.5% + FA 5% + Z 12.5%	10.39	16.74	18.58
PC 77.5% + FA 10% + Z 12.5%	11.81	17.60	21.08
PC 72.5% + FA 15% + Z 12.5%	9.81	15.78	18.86

Sumber : Hasil Pengujian



Gambar 2. Grafik Hasil Kuat Tekan

Untuk mengetahui anggaran biaya yang dibutuhkan pada proyek penelitian pengaruh penambahan fly ash dan zeolit dalam substitusi semen terhadap kuat tekan beton ini, maka diperlukan

analisis biaya guna untuk mengetahui kebutuhan serta anggaran yang dikeluarkan dalam kegiatan penelitian ini. Hasil perhitungan anggaran biaya pada masing-masing variasi.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Anggaran Biaya Beton Normal

No	Material	Volume	Satuan	Harga per kg	Total
1	Agregat Halus	95.71	Kg	Rp 337.50	Rp 32,302.61
2	Agregat Kasar	102.27	Kg	Rp 382.50	Rp 39,118.36
3	Semen	41.77	Kg	Rp 1,425.00	Rp 59,519.51
4	Air	17.83	Kg	Rp 5.40	Rp 96.28
Total Harga					Rp 131,036.77

Tabel 12. Hasil Perhitungan Anggaran Biaya FA 5% + Z 12.5%

No	Material	Volume	Satuan	Harga per kg	Total
1	Agregat Halus	95.71	Kg	Rp 337.50	Rp 32,302.61
2	Agregat Kasar	102.27	Kg	Rp 382.50	Rp 39,118.36
3	Semen	34.46	Kg	Rp 1,425.00	Rp 49,103.60
4	Air	17.83	Kg	Rp 5.40	Rp 96.28
5	Fly Ash (5%)	2.09	Kg	Rp 533.33	Rp 1,113.82
6	Zeolit (12.5%)	5.22	Kg	Rp 650.00	Rp 3,393.66
Total Harga					Rp 125,128.33

Tabel 13. Hasil Perhitungan Anggaran Biaya FA 10% + Z 12.5%

No	Material	Volume	Satuan	Harga per kg	Total
1	Agregat Halus	95.71	Kg	Rp 337.50	Rp 32,302.61
2	Agregat Kasar	102.27	Kg	Rp 382.50	Rp 39,118.36
3	Semen	32.37	Kg	Rp 1,425.00	Rp 46,127.62
4	Air	17.83	Kg	Rp 5.40	Rp 96.28
5	Fly Ash (10%)	4.18	Kg	Rp 533.33	Rp 2,227.63
6	Zeolit (12.5%)	5.22	Kg	Rp 650.00	Rp 3,393.66
Total Harga					Rp 123,266.17

Tabel 14. Hasil Perhitungan Anggaran Biaya FA 15%+Z 12.5%

No	Material	Volume	Satuan	Harga per kg	Total
1	Agregat Halus	95.71	Kg	Rp 337.50	Rp 32,302.61
2	Agregat Kasar	102.27	Kg	Rp 382.50	Rp 39,118.36
3	Semen	30.28	Kg	Rp 1,425.00	Rp 43,151.64
4	Air	17.83	Kg	Rp 5.40	Rp 96.28
5	Fly Ash (15%)	6.27	Kg	Rp 533.33	Rp 3,341.45
6	Zeolit (12.5%)	5.22	Kg	Rp 650.00	Rp 3,393.66
Total Harga					Rp 123,266.17

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan biaya diatas, semakin besar penambahan variasi pada *fly ash* dan zeolit maka semakin kecil biaya pembuatan beton. Pada variasi *fly ash* 5% + zeolit 12.5% mengalami penurunan harga sebesar 4.6%, variasi *fly ash* 10% + zeolit 12.5% mengalami penurunan harga sebesar 6.1%, dan mengalami penurunan pada variasi *fly ash* 15% + zeolit 12.5% sebesar 7.6% dari beton normal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian dapat dijabarkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai hasil penelitian yang didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari yaitu dengan variasi campuran 0% sebesar 19.25 Mpa, variasi campuran *fly ash* 5% + zeolit 12.5% sebesar 18.58 Mpa, variasi campuran *fly ash* 10% + zeolit 12.5% sebesar 21.08 Mpa, dan variasi campuran *fly ash* 15% + zeolit 12.5% sebesar 18.86 Mpa. Maka, dari hasil pengujian kuat tekan beton dapat disimpulkan bahwa yang memiliki nilai maksimum pada nilai kuat tekan yaitu pada beton dengan variasi campuran 10% dengan nilai kuat beton rata-rata sebesar 21.08 MPa.
2. Berdasarkan hasil analisis anova untuk pengujian kuat tekan beton diketahui bahwa pengaruh umur beton dan variasi campuran pada nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan nilai pada umur beton sebesar $70.02 > 3.19$ sedangkan variasi campuran sebesar $6.18 > 2.79$ sehingga umur beton dan variasi campuran berpengaruh terhadap kuat tekan. Namun interaksi antara keduanya tidak signifikan terhadap kuat tekan beton, karena dari nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ dengan nilai sebesar $2.08 < 2.29$. Hal ini dikarenakan penggunaan semen untuk mengganti campuran beton mempengaruhi variasi dan umur yang terbentuk pada beton. semakin banyak variasi campuran yang digunakan maka hasil kuat tekan akan semakin turun. Dan semakin tinggi umur beton maka kuat tekan akan semakin naik pada masing-masing variasi. Akan tetapi tidak dapat memberikan interaksi pada variasi dan umur beton.
3. Biaya pembuatan beton untuk beton normal sebesar Rp 131.036,77, beton variasi *fly ash* 5% + zeolit 12.5% sebesar Rp 125.128,33, beton variasi *fly ash* 10% + zeolit 12.5% sebesar Rp 123.266,17, dan beton variasi *fly ash* 15% + zeolit 12.5% sebesar Rp 121.404,01. Berdasarkan biaya diatas beton dengan campuran variasi *fly ash* dan zeolit lebih murah daripada biaya pembuatan beton normal dengan selisih setiap harga untuk beton variasi *fly ash* 5% + zeolit 12.5% sebesar Rp 5.908,44, beton variasi *fly ash* 10% + zeolit 12.5% sebesar Rp 7.770,60, dan variasi *fly ash* 15% + zeolit 12.5% sebesar Rp 9.632,76.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shekarchi, M., Ahmadi, B., Azarhomayun, F., Shafei, B., & Kioumars, M. (2023). Natural zeolite as a supplementary cementitious material – A holistic review of main properties and applications. Dalam *Construction and Building Materials* (Vol. 409). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133766>
- [2] Panda, L., & Dash, S. (2020). Characterization and utilization of coal fly ash: A review. Dalam *Emerging*

- Materials Research (Vol. 9, Nomor 3, hlm. 921–934). ICE Publishing. <https://doi.org/10.1680/jemmr.18.00097>
- [3] Domínguez, I. A. C., Abdellaoui, Y., Abatal, M., & Patiño-Carachure, C. (2018). Characterizations and Industrial Applications for Cement and Concrete Incorporated Natural Zeolite. Dalam Zeolites and Their Applications. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74953>
- [4] Iswarya, G., & Beulah, M. (2021). Use of zeolite and industrial waste materials in high strength concrete - A review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.329>
- [5] Standart Nasional Indonesia, (2000). “Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal” SNI 03-2834-2000. Badan Standardisasi Nasional.
- [6] Standart Nasional Indonesia, (2011). “Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder” SNI 1974:2011 : Badan Standardisasi Nasional.
- [7] Syahrulloh, M. (2020). Uji Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Serbuk Zeolit Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Jakarta).