

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH DAN SIKA TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON NORMAL

Ferdinandus Ardian Raydais^{1*}, Candra Aditya², Abdul Halim³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama Malang

*Email Korespondensi: raydaisardy@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan rekayasa teknologi semakin maju disegala bidang, salah satunya yaitu perkembangan teknologi beton. Hal ini karena beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan. Beton merupakan bahan campuran antara semen, agregat kasar, agregat halus, air dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Dalam penelitian ini peneliti mencoba eksperimen dengan menggunakan bahan tambah fly ash dan sika untuk campuran beton. Dengan memanfaatkan ampas batu bara yang sangat menumpuk yaitu fly ash. Fly ash adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan terdiri dari partikel halus. *Sikacim Concrete Additive* berfungsi menambah kekuatan beton. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fly ash terhadap kuat tekan beton dan modulus elastisitas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimen pengamatan secara langsung di laboratorium untuk mendapatkan data. Menganalisis dan observasi menggunakan metode statistik dengan menggunakan metode uji Anova *Single Factor* dan dihitung menggunakan *Microsoft Excel*. Dari hasil penelitian beton segar dan beton normal dengan umur beton 28 hari mendapatkan kuat tekan tertinggi dengan nilai 18,19 MPa pada komposisi dengan proporsi fly ash 15% dan sika 3% dari kuat tekan beton normal dengan nilai 17,1 MPa. Dan nilai modulus elastisitas tertinggi 20430.3 MPa pada komposisi dengan proporsi fly ash 15% dan sika 3% dari nilai modulus elastisitas beton normal dengan nilai 19306.3 MPa.

Kata Kunci : Fly Ash, Sika, Bahan Tambah, Beton Segar dan Beton Normal

ABSTRACT

Technological engineering developments are advancing in all fields, one of which is the development of concrete technology. This is because concrete is one of the most widely used construction materials in building. Concrete is a mixture of cement, coarse aggregate, fine aggregate, water, with or without additives (admixture). In this study, the researchers conducted experiments using fly ash and sika additives for concrete mixtures. Fly ash is a highly accumulated coal waste product. Fly ash is an industrial waste product resulting from coal combustion and consists of fine particles. Sikacim Concrete Additive serves to increase the strength of concrete. The purpose of this study was to determine the extent of fly ash's effect on concrete compressive strength and elastic modulus. The method used in this study was a direct observation experiment in the laboratory to obtain data. Analysis and observation were carried out using statistical methods with the Single Factor ANOVA test and calculated using Microsoft Excel. From the results of research on fresh concrete and normal concrete with a concrete age of 28 days, the highest compressive strength was obtained with a value of 18.19 MPa in a composition with a fly ash proportion of 15% and sika 3% from the compressive strength of normal concrete with a value of 17.1 MPa. The highest elastic modulus value of 20430.3 MPa was obtained in the composition with a fly ash proportion of 15% and sika 3% from the elastic modulus value of normal concrete with a value of 19306.3 MPa.

Keywords: Fly Ash, Sika, Additives, Fresh Concrete and Normal Concrete

1. PENDAHULUAN

Perkembangan rekayasa teknologi semakin maju disegala bidang, salah satunya yaitu perkembangan teknologi beton. Hal ini karena beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan [1]. Dalam penelitian ini peneliti mencoba eksperimen dengan menggunakan bahan tambah salah satunya untuk campuran beton adalah dengan memanfaatkan ampas batu bara yang sangat menumpuk yaitu fly ash dan sika [2]. Fly ash adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan terdiri dari partikel halus dan *sikacim concrete Additive* yang berfungsi menambah kekuatan beton [3]. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan fly ash dan sika terhadap nilai slump, mengetahui seberapa pengaruh penambahan fly ash dan sika terhadap kuat tekan beton, dan menganalisis pengaruh penggunaan Fly Ash dan Sika pada terhadap nilai modulus elastisitas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi beton

Beton adalah campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serta non kimia dengan bahan bangunan non-kimia pada perbandingan tertentu [4]. Beton yang merupakan salah satu material penting dari sebuah bangunan selain karena kemudahan dalam mendapatkan material penyusunnya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah dalam penyediaan lapangan kerja [5]. Hal yang menjadi pertimbangan pada proses produksinya berupa kekuatan tekan yang tinggi dan kemudahan pengerjaannya, serta kelangsungan proses pengadaan beton [6].

2.2 Beton Segar

Beton segar yang bagus ialah beton segar yang mudah dapat diaduk, diangkut, dituang, dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi *segregasi* (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dan semen dari adukan) [7]. Hal ini diakibatkan butiran yang lebih kecil mengisi rongga antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya jadi lebih sedikit dan beton mempunyai kemapatan yang besar [8]. Beton (beton keras) yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama / awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (kembang susunya kecil).

2.3 Beton Normal

Beton merupakan bahan dari campuran antara Portland cement, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta sewaktu-waktu ditambahkan additive[9]. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 kg/m³ sampai dengan 2500 kg/m³ dan dibuat dengan menggunakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk massa yang padat, kuat, dan stabil [10].

2.4 Kuat Tekan

. Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan [11]. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton disbanding sifat-sifat lain, kekuatan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, dan agregat halus, air [12]. Beban tekan maksimal pada saat benda pengujian retak bagi luas penampang benda uji sebagai nilai kuat tekan beton yang menyatakan dalam MPa atau kg/cm². Tata cara uji pada umumnya menggunakan Standar ASTM (American Standard Testing of Materials) Rumus yang biasanya dipakai untuk menghitung kuat tekan beton adalah:

$$f'_c = P/A \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa atau Kg/cm²)
 P = beban maksimum (KN)
 A = luas penampang benda uji (cm²)

2.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan dari diagram tegangan-regangan yang masih dalam keadaan elastisitas. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mampu menahan tegangan (desak utama) yang cukup besar akibat beban-beban yang terjadi pada suatu regangan (sebagai kemampuan terjadi retak) kecil, Modulus elastisitas suatu benda didefinisikan sebagai kemiringan dari kurva tegangan-regangan di wilayah deformasi elastis[13].

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2)$$

di mana:

E = modulus elastisitas (MPa),

ϵ = regangan aksial,

σ = tegangan aksial (MPa)

2.6 Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash atau biasa disebut sebagai abu terbang merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu – abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara[14]. Karena fly ash berasal dari limbah batu bara maka faktor – faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi[15].

2.7 Sikacim Concrete Additive

Superlasticizer Sikacim ialah suatu zat kimia yang berfungsi mempercepat pengerasan pada beton dengan mengurangi penggunaan air dalam campuran beton [16]. *Sikacim Concrete Additive* merupakan cairan yang ditambah ke dalam campuran beton selama pengadukan dengan tujuan untuk mengubah sifat adonan betonnya [17]. *Sikacim Concrete Additive* memiliki pengaruh yang besar dalam meningkatkan *workability* dalam pengerjaan beton dan kedekatan terhadap air

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi penelitian

Pengujian material dan pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas dilakukan di Laboratorium terpadu Universitas Widyagama Malang, yang berlokasi di Jln. Borobudur No.35 Mojolangu Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65142.

3.2 Metode Pengambilan data

Metode penelitian berisikan langkah-langkah penelitian suatu masalah, perkara, gejala atau fenomena dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban yang bisa dipertanggung jawabkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimen untuk mendapatkan hasil ataupun data-data yang akan menegaskan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti.

3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan pada penelitian ini dilaksanakan pada cetakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. menggunakan komposisi 1 semen, 2 pasir, 3 kerikil dengan bahan tambah fly ash dan sika. Adapun rancangan komposisi penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

Tabel 1. Rancangan Penelitian

Komposisi					Jumlah Benda Uji
Semen	Pasir	Kerikil	Fly Ash	Sika	Kuat Tekan / Modulus Elastisitas
1	2	3	0%	0%	5
1	2	3	5%	3%	5
1	2	3	10%	3%	5
1	2	3	10%	3%	5

Sumber: Hasil rancangan penelitian

Bahan-bahan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah Semen, Pasir, Air, Fly Ash, Sika, adapun alat yang akan di gunakan untuk melaksanakan kegiatan ini adalah Cawan, Timbangan, Oven, Saringan, Mesin Kuat Tekan, Dll.

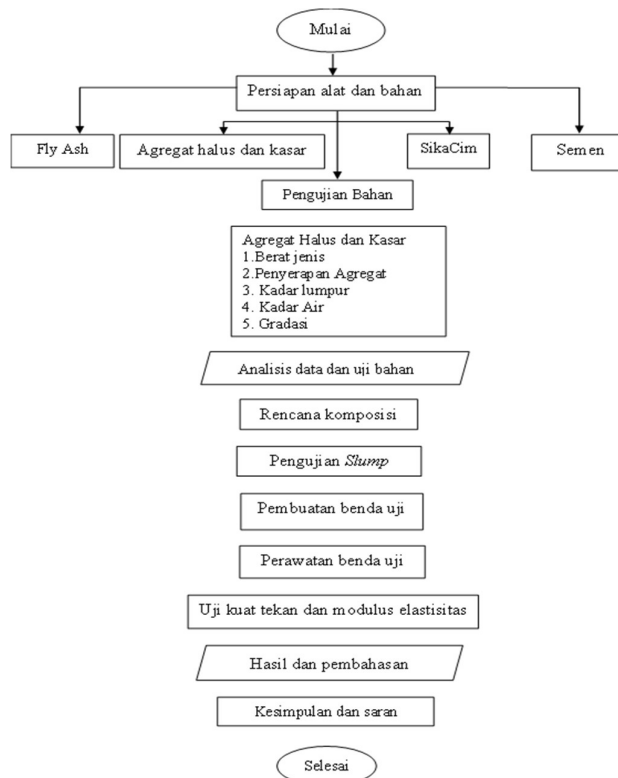
3.4 Prosedur Kerja

Prosedur kerja meliputi Pengujian berat Jenis dan penyerapan air pada agregat halus dan agregat kasar, Pengujian kadar lumpur pada agregat halus, Pemeriksaan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar, Pengujian gradasi agregat halus dan agregat kasar

3.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Bahan-bahan dicampur sesuai rencana mulai dari pasir, semen, kerikil, zat sika, dan bahan tambah, lalu air ditambahkan bertahap hingga adukan homogen. Slump adukan diukur, dan jika belum sesuai, campuran dikoreksi dengan menambah air. Setelah slump sesuai, adukan beton dimasukkan ke cetakan silinder dalam 3 tahap, tiap tahap dipadatkan dengan 25 tusukan tongkat baja. Setelah cetakan penuh dan diratakan, disimpan di tempat sejuk selama 24 jam. Setelah itu, benda uji dikeluarkan, diukur, diberi tanda, lalu direndam selama 28 hari untuk perawatan.

3.6 Bagan alir penelitian

**Gambar 1.** Bagan Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
Kadar Air (%)	0,018	-	
Kadar Lumpur (%)	0,541	Maksimal 5%	Memenuhi syarat
Berat Jenis (g/cm ³)	2,56	-	
Penyerapan Air (%)	0,020	-	
Modulus Halus Butir (%)	2,920	1,5% - 3,5%	Memenuhi syarat
Berat Jenis SSD (g/cm ³)	2,551	-	
Berat Jenis Bulk (g/cm ³)	2,500	-	
Berat Jenis Semu (g/cm ³)	2,634	-	

Sumber: pengujian bahan 2024

4.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
Kadar Air (%)	0,008	-	
Berat Jenis (g/cm ³)	2,135	-	
Penyerapan Air (%)	0,069	-	
Modulus Halus Butir(%)	1,773	1,5% - 3,5%	Memenuhi syarat
Berat Jenis SSD (g/cm ³)	2,121	-	
Berat Jenis Bulk (g/cm ³)	1,985	-	
Berat Jenis Semu (g/cm ³)	2,298	-	

Sumber: pengujian bahan 2024

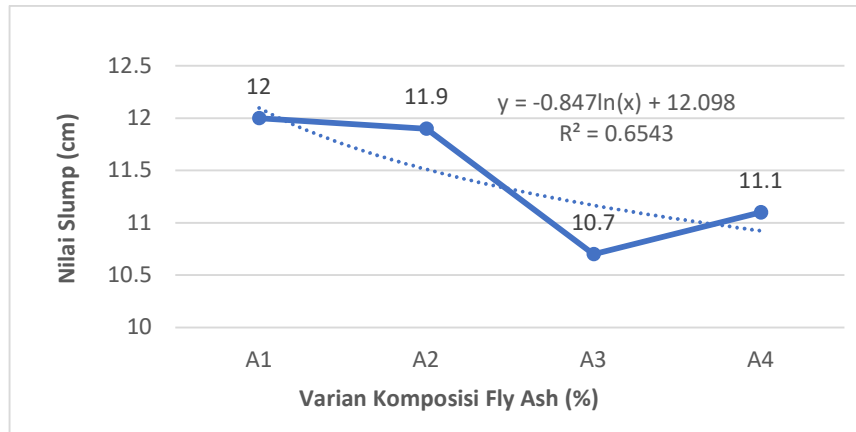
4.3 Hasil Pengujian Slump

Tabel 4. Hasil Pengujian Slump

KODE	KOMPOSISI					
	Semen	Pasir	Kerikil	Fly Ash (%)	Sika (%)	Slump (cm)
A1	1	2	3	0	0	12
A2	1	2	3	5	3	11,9
A3	1	2	3	10	3	10,7
A4	1	2	3	15	3	11,1

Sumber: pengujian bahan 2024

Dari hasil perhitungan pada tabel 4 maka di dapatkan grafik nilai slump test dengan beberapa variasi penambahan fly ash sebagai berikut :



Gambar 2. Grafil Slump Test

Hasil dari pengujian slump menunjukkan bahwa komposisi beton dengan bahan tambah fly ash dan sika didapatkan nilai slump tertinggi 12 cm yaitu beton normal dibandingkan dengan komposisi bahan tambah fly ash 5%, 10% dan 15% dengan sika masing-masing 3% nilai slump relatif turun 11,9 cm, 10,7 cm, 11,1 cm dapat dilihat pada Gambar 2.

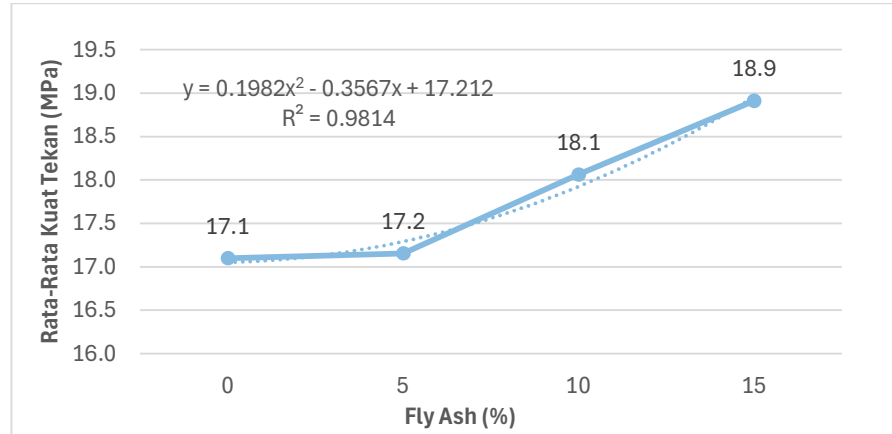
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kode Beton	Komposisi	Berat (Kg)	Pmax (KN)	P (N)	Fc (Mpa)	Fcr (Mpa)
1	A1 0%	1 PC : 2 PS : 3 KR	12,5	375	375000	21,2	17,1
2	A1 0%		12,0	260	260000	14,7	
3	A1 0%		12,4	300	300000	17,0	
4	A1 0%		11,9	200	200000	11,3	
5	A1 0%		12,4	375	375000	21,2	
6	A2 FA 5% : SK 3%	1 PC : 2 PS : 3 KR : 5% FA : 3% SK	12,1	320	320000	18,1	17,2
7	A2 FA 5% : SK 3%		12,0	310	310000	17,6	
8	A2 FA 5% : SK 3%		11,8	270	270000	15,3	
9	A2 FA 5% : SK 3%		12,0	300	300000	17,0	
10	A2 FA 5% : SK 3%		12,1	315	315000	17,8	
11	A3 FA 10% : SK 3%	1 PC : 2 PS : 3 KR : 10% FA : 3% SK	12,0	300	300000	17,0	18,1
12	A3 FA 10% : SK 3%		12,2	335	335000	19,0	
13	A3 FA 10% : SK 3%		12,0	320	320000	18,1	
14	A3 FA 10% : SK 3%		12,0	340	340000	19,2	
15	A3 FA 10% : SK 3%		12,1	300	300000	17,0	
16	A4 FA 15% : SK 3%	1 PC : 2 PS : 3 KR : 15% FA : 3% SK	12,1	310	310000	17,6	18,9
17	A4 FA 15% : SK 3%		12,0	335	335000	19,0	
18	A4 FA 15% : SK 3%		12,0	365	365000	20,7	
19	A4 FA 15% : SK 3%		12,3	340	340000	19,2	
20	A4 FA 15% : SK 3%		12,2	320	320000	18,1	

Sumber: pengujian bahan 2024

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5 maka di dapatkan grafik antara kadar campuran fly ash dengan kuat tekan sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan

Hasil pengujian beton dengan umur 28 hari menunjukkan kuat tekan pada beton normal mendapatkan 17,1 MPa. dibandingkan dengan komposisi penambahan fly ash 5%, 10% dan 15% dengan sika 3% mendapatkan kuat tekan rata-rata pada komposisi dengan proporsi fly ash 15% dan sika 3% adalah kuat tekan tertinggi dengan nilai 18,9 MPa dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 6. Hasil Rancangan Acak Kelompok Kuat Tekan Dengan Bahan Penambah

A1 0%	A2 FA 5% : SK 3%	A3 FA 10% : SK 3%	A4 FA 15% : SK 3%
21,2314	18,1175	16,9851	17,5513
14,7205	17,5513	18,9667	18,9667
16,9851	15,2866	18,1175	20,6653
11,3234	16,9851	19,2498	19,2498
21,2314	17,8344	16,9851	18,1175

Sumber: pengujian bahan 2024

Berdasarkan Tabel 7 Hasil rancangan acak kelompok diperoleh dari data anova Anova: Single Factor sebagai berikut:

Tabel 7. Anova Single Factor Kuat Tekan

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
A1 0%	5	85.49186129	17.09837226	18.29538573
A2 FA 5% : SK 3%	5	85.77494692	17.15498938	1.266172118
A3 FA 10% : SK 3%	5	90.30431706	18.06086341	1.137952157
A4 FA 15% : SK 3%	5	94.55060156	18.91012031	1.418433322

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11.04294	3	3.68098139	0.665700483	0.58523	3.23887152
Within Groups	88.47177	16	5.529485833			
Total	99.51472	19				

Hipotesis:

H0 : Sika sebagai bahan penambah tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton

H1 : Sika sebagai penambah berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan beton

H0 = $\alpha < P\text{-Value}$

$$H1 = \alpha > P\text{-Value}$$

$$\alpha = 0,05 < P\text{-Value} = 0,58$$

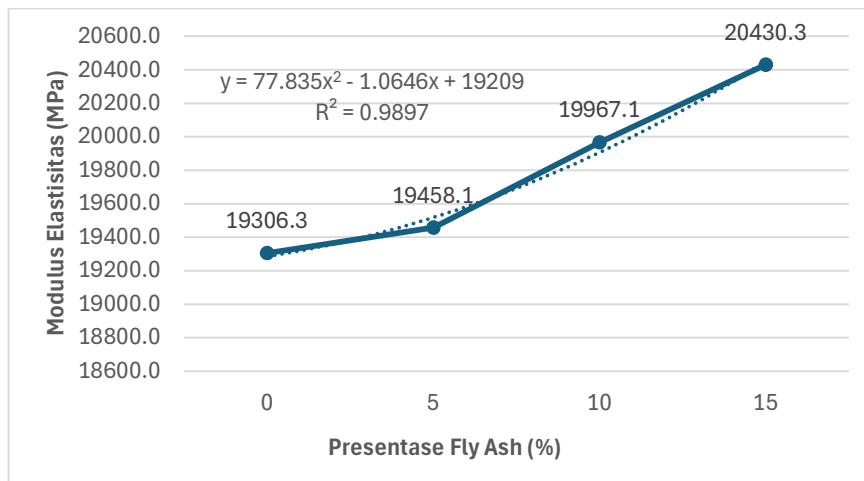
4.5 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Tabel 8. Perhitungan Modulus Elastisitas

No	Komposisi	Beban	Perpan-jangan	Tegangan	Regangan	Ec	Ec Rata- rata
		P	ΔL	Σ	ϵ	Mpa	Mpa
1	1 PC : 2 PS : 3 KR	375	21	0,02123	0,08077	21656,457	19306,3
2		260	16	0,01472	0,06154	18032,604	
3		300	24	0,01699	0,09231	19370,124	
4		200	24	0,01132	0,09231	15815,640	
5		375	21	0,02123	0,08077	21656,457	
6	1 PC : 2 PS : 3 KR : 5% FA : 3% SK	320	30	0,01812	0,11538	20005,378	19458,1
7		310	34	0,01755	0,13077	19690,313	
8		270	39	0,01529	0,15000	18376,113	
9		300	22	0,01699	0,08462	19370,124	
10	1 PC : 2 PS : 3 KR : 10% FA : 3% SK	315	38	0,01783	0,14615	19848,471	19967,1
11		300	12	0,01699	0,04615	19370,124	
12		335	28	0,01897	0,10769	20468,884	
13		320	10	0,01812	0,03846	20005,378	
14		340	20	0,01925	0,07692	20621,072	
15	1 PC : 2 PS : 3 KR : 15% FA : 3% SK	300	10	0,01699	0,03846	19370,124	20430,3
16		310	29	0,01755	0,11154	19690,313	
17		335	20	0,01897	0,07692	20468,884	
18		365	23	0,02067	0,08846	21365,753	
19		340	25	0,01925	0,09615	20621,072	
20		320	37	0,01812	0,14231	20005,378	

Sumber: pengujian bahan 2024

Dari hasil perhitungan pada Tabel 8 maka di dapatkan grafik antara presentase fly ash dengan modulus elastisitas sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik Modulus Elastisitas

Pada Gambar 5 Menunjukkan bahwa tanpa penambah fly ash dan sika mendapatkan nilai modulus elastisitas 19306,3 MPa dan pada komposisi fly ash 5%, 10% dan sika 3% masing-masing mendapatkan nilai modulus elastisitas 19458,1 MPa, 19967,1 Mpa yaitu nilai rata-rata tertinggi pada komposisi dengan fly ash 15% dan sika 3% mendapatkan nilai 20430,3 MPa.

Tabel 9. Hasil Rancangan Acak Kelompok Modulus Elastisitas Dengan Bahan Penambah

A1 0%	A2 FA 5% : SK 3%	A3 FA 10% : SK 3%	A4 FA 15% : SK 3%
21656,4568	20005,3779	19370,1239	19690,3129
18032,6040	19690,3129	20468,8844	20468,8844
19370,1239	18376,1130	20005,3779	21365,7530
15815,6399	19370,1239	20621,0715	20621,0715
21656,4568	19848,4706	19370,1239	20005,3779

Sumber: pengujian bahan 2024

Berdasarkan Tabel 11 Hasil rancangan acak kelompok diperoleh dari data anova Anova: Single Factor sebagai berikut:

Tabel 10. Anova Single Factor Modulus Elastisitas

SUMMARY					
Groups	Count	Sum	Average	Variance	
A1 0%	5	96531.28142	19306.25628	6214389.345	
A2 FA 5% : SK 3%	5	97290.39821	19458.07964	421065.1972	
A3 FA 10% : SK 3%	5	99835.58161	19967.11632	348423.1526	
A4 FA 15% : SK 3%	5	102151.3997	20430.27995	410273.625	
ANOVA					
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value F crit
Between Groups	3927534.807	3	1309178.269	0.708223682	0.561052094 3.238872
Within Groups	29576605.28	16	1848537.83		
Total	33504140.09	19			

Hipotesis:

H0 : Sika sebagai penambah tidak berpengaruh signifikan terhadap modulus elastisitas

H1 : Sika sebagai penambah berpengaruh terhadap modulus elastisitas

H0 : $\alpha < P\text{-Value}$

H1 : $\alpha > P\text{-Value}$

$\alpha = 0,05 > P\text{-Value} = 0.561$

5. KESIMPULAN

Penambahan fly ash sebesar 5%, 10%, dan 15% dengan penggunaan sika 3% terbukti memengaruhi sifat beton segar dengan menurunkan nilai slump dibandingkan beton normal, yang disebabkan oleh ukuran partikel fly ash yang lebih halus sehingga campuran menjadi lebih kaku dan workability menurun. Namun demikian, hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa penurunan nilai slump tersebut tidak berbeda signifikan secara statistik antar variasi campuran. Pada beton keras, penambahan fly ash dan sika memberikan kecenderungan peningkatan sifat mekanik, ditunjukkan oleh kenaikan kuat tekan beton masing-masing sebesar 0,33%, 5,33%, dan 9,58% dibandingkan beton normal dengan kuat tekan 17,1 MPa, meskipun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji ANOVA. Hal serupa juga terjadi pada modulus elastisitas, di mana penambahan fly ash 5%, 10%, dan 15% pada sika 3% menghasilkan peningkatan sebesar 0,78%, 3,31%, dan 5,50% dari nilai beton normal 19,2 MPa, namun perbedaannya tidak signifikan secara statistik karena nilai F-hitung lebih kecil dari F-critical dan p-value lebih besar dari 0,05. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase fly ash dengan sika 3% cenderung meningkatkan kinerja mekanik beton tanpa memberikan perbedaan yang signifikan secara statistik antar variasi campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hadori, Y. Pranoto, and T. E. Sutarto, "Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Fly Ash dan Admixture Superplasticizer," *Politeknik Negeri Samarinda*, vol. VII, no. 1, pp. 50–55, 2015.
- [2] M. Ulul Azmi, "Pengaruh Penambahan Superplasticizer Sika Viscocrete 1003 Untuk Mencapai Kuat Tekan Awal Tinggi Beton," vol. 1, pp. 1–10, 2020.
- [3] M. A. Sultan, I. Imran, and M. Faujan, "PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA (FLY ASH) Ex PLTU RUM PADA CAMPURAN BETON," *Teras Jurnal*, vol. 9, no. 2, p. 83, 2019, doi: 10.29103/tj.v9i2.186.
- [4] R. S. Fani, "Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kayu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Dengan Bahan Tambah Am 78 Concrete Additive Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [5] A. Zade, "Eksperimen beton mutu tinggi berbahan fly ash sebagai pengganti sebagian semen," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 2018.
- [6] T. Mulyono, "Teknologi Beton (Yogyakarta: CV. Andi Offset)," 2005.
- [7] Y. Ardiwinata, "Studi Pengaruh Tiga Metode Pemadatan Beton Segar Terhadap Kuat Tekan dan Segregasi Beton dengan Mutu Beton K-300 ($f_c'=24,9$ MPa)," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 407–412, 2015.
- [8] A. B. Umar and R. Trimurtiningrum, "PENGARUH GRADASI AGREGAT TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK BETON," *Journal of Scientech Research and Development*, vol. 5, no. 2, pp. 580–591, 2023.
- [9] Y. D. Setiyarto, "Pengaruh Penggunaan Zat Epoxy Terhadap Kuat Tekan Beton Normal," *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 12–21, 2022.
- [10] E. Hunggurami, M. E. Bolla, and P. Messakh, "Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 165–172, 2017.
- [11] M. Zardi, C. Rahmawati, and T. K. Azman, "Pengaruh Persentase Penambahan Sika Viscocrete-10 Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, vol. 2, no. 1, pp. 13–24, 2019, doi: 10.30601/jtsu.v2i1.18.
- [12] A. Hadori, Y. Pranoto, and T. E. Sutarto, "Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Fly Ash dan Admixture Superplasticizer," *Politeknik Negeri Samarinda*, vol. VII, no. 1, pp. 50–55, 2015.
- [13] W. A. Prakayuda, A. Halim, and C. Aditya, "Pengaruh penambahan damdex pada campuran beton terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton," *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 40–47, 2021.
- [14] Y. ' . Afrianda, A. ' . Kurniawandy, and Z. ' . Djauhari, "Pengaruh Abu Dasar (Bottom Ash) sebagai Bahan Substitusi Pasir pada Sebagian Sifat Beton Segar dan Beton Keras," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2016.
- [15] R. M. Mohamad, A. Rachman, and R. Mointi, "Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen," *Radial*, vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2020.
- [16] M. Jamal, M. Widiastuti, and A. T. Anugrah, "Pengaruh Penggunaan Sikacim Concrete Additive Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon Dan Agregat Halus Pasir Mahakam," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*, no. November, pp. 28–36, 2017.
- [17] N. Lia Wahyuni, N. Rasidi, M. Manajemen Rekayasa Konstruksi, J. Teknik Sipil, P. Negeri Malang, and D. Jurusan Teknik Sipil, "Analisis Pengaruh Penambahan Sikacim Concrete Additive Dan Kapur Pada Beton Normal," vol. 3, no. 2, pp. 125–130, 2022.