

Pengaruh Fly Ash Tipe F dan Sika Intraplast Z terhadap Kuat Tekan dan Setting Time Grouting

Effect of Type F Fly Ash and Sika Intraplast Z on the Compressive Strength and Setting Time of Grouting

Iqbal Munir Fadhilah¹, Sumarman², Lutfi Marantica³

¹⁻³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Swadaya Gunung Jati
Alamat korespondensi : Jl. Pemuda No. 32, Sunyaragi, Kota Cirebon, Jawa Barat, Indonesia
email: iqbal.122130041@ugj.ac.id

Abstract

The performance of grouting materials is primarily determined by compressive strength and setting time, requiring the selection of appropriate admixtures to improve their properties. This study aimed to compare the effects of Type F fly ash and Sika Intraplast Z on the compressive strength and setting time of grouting mixtures. An experimental quantitative method was employed using cylindrical specimens measuring 5.5 cm in diameter and 11 cm in height with a water-cement ratio of 0.40 and OPC Type I cement. The mixtures consisted of one control group, five Type F fly ash substitution levels (16%, 18%, 20%, 22%, and 24%), and two Sika Intraplast Z dosages (1% and 2%). Compressive strength tests were conducted at 7 and 28 days, while setting time was determined using the Vicat apparatus. The results showed that the 18% fly ash substitution produced the highest 28-day compressive strength of 40.71 MPa, representing a 13.75% increase compared with the control mixture, with a setting time of 135 minutes. In contrast, Sika Intraplast Z reduced compressive strength by up to 59.60%. It is concluded that Type F fly ash at an 18% substitution level provides the optimum grouting performance.

Keywords: grouting; compressive strength; setting time; Type F fly ash; Sika Intraplast Z.

Abstrak

Kinerja material grouting sangat dipengaruhi oleh kuat tekan dan setting time sehingga diperlukan bahan tambah yang mampu meningkatkan kualitas campuran. Penelitian ini bertujuan membandingkan pengaruh penggunaan fly ash Tipe F dan Sika Intraplast Z terhadap kuat tekan dan setting time grouting. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif menggunakan benda uji silinder berdiameter 5,5 cm dan tinggi 11 cm dengan faktor air semen 0,40 dan semen OPC Tipe I. Variasi campuran terdiri atas satu kelompok kontrol, lima variasi substitusi fly ash Tipe F (16%, 18%, 20%, 22%, dan 24%), serta dua variasi penambahan Sika Intraplast Z (1% dan 2%). Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari, sedangkan setting time diuji menggunakan alat Vicat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi fly ash Tipe F sebesar 18% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 40,71 MPa pada umur 28 hari atau meningkat 13,75% dibandingkan kontrol dengan setting time 135 menit. Sebaliknya, penambahan Sika Intraplast Z menurunkan kuat tekan hingga 59,60% dibandingkan kontrol. Disimpulkan bahwa fly ash Tipe F pada kadar substitusi 18% memberikan kinerja grouting yang paling optimal dibandingkan variasi lainnya.

Kata kunci: grouting; kuat tekan; setting time; fly ash Tipe F; Sika Intraplast Z.

PENDAHULUAN

Grouting merupakan material berbasis semen yang banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi untuk mengisi rongga, memperkuat sambungan struktur, memperbaiki retakan, meningkatkan kapasitas dukung pondasi, serta mendukung sistem prategang dan perbaikan struktur beton. Kinerja grouting sangat dipengaruhi oleh sifat mekanis dan karakteristik pengerasannya, terutama kuat tekan dan setting time, karena kedua parameter tersebut menentukan kemampuan material dalam menahan beban serta efisiensi pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Persyaratan pengujian kuat tekan mortar semen dan waktu ikat semen telah diatur dalam SNI 03-6825-2002 dan SNI 03-6827-2002, sedangkan material semen Portland yang digunakan harus memenuhi ketentuan SNI 15-2049-2004 (Badan Standardisasi Nasional, 2002a; Badan Standardisasi Nasional, 2002b;

Badan Standardisasi Nasional, 2004). Selain itu, kualitas material berbasis semen juga harus mendukung persyaratan kinerja beton struktural sebagaimana diatur dalam SNI 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Perkembangan teknologi material konstruksi mendorong penggunaan bahan tambah (admixture) dan material pozzolan untuk meningkatkan kinerja grouting. Salah satu material yang banyak dikembangkan adalah fly ash Tipe F sebagai substitusi parsial semen. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa fly ash mampu meningkatkan densitas mikrostruktur melalui reaksi pozzolanik sehingga dapat meningkatkan kuat tekan jangka panjang, memperbaiki durabilitas, serta mengurangi porositas material berbasis semen (Ashad et al., 2020; Ayuningtyas et al., 2022; Maghipiroh & Iskandar, 2023; Morib et al., 2025). Selain meningkatkan performa teknis, penggunaan fly ash juga mengurangi konsumsi semen Portland sehingga mendukung konsep konstruksi berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah industri sebagai material bernilai tambah (Hanum et al., 2024). Meskipun demikian, peningkatan kadar fly ash yang melebihi komposisi optimum berpotensi memperlambat proses hidrasi dan waktu ikat (setting time) sehingga diperlukan penentuan kadar substitusi yang tepat.

Selain material pozzolan, penggunaan bahan tambah ekspansif juga banyak diterapkan pada campuran grout untuk mengurangi penyusutan, meningkatkan kemampuan pengisian rongga, serta memperbaiki stabilitas volume. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa admixture kimia mampu memperbaiki sifat reologi, workability, dan karakteristik pengerasan grout (Mohammed et al., 2020; Zheng et al., 2022; Li et al., 2025). Namun demikian, efektivitas bahan tambah ekspansif sangat dipengaruhi oleh jenis dan dosis yang digunakan. Pada kadar tertentu bahan tambah dapat meningkatkan performa grout, sedangkan penggunaan yang berlebihan berpotensi menurunkan kuat tekan akibat meningkatnya porositas internal campuran (Dinata et al., 2023; Kamarullah et al., 2025).

Berdasarkan kajian tersebut, sebagian besar penelitian masih mengevaluasi fly ash maupun admixture ekspansif secara terpisah sehingga belum memberikan gambaran mengenai material yang lebih efektif untuk menghasilkan kombinasi kuat tekan dan setting time yang optimum pada campuran grouting. Penelitian yang secara langsung membandingkan kinerja Fly Ash Tipe F sebagai substitusi semen dengan Sika Intraplast Z sebagai bahan tambah ekspansif pada kondisi faktor air semen yang sama masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara komparatif pengaruh kedua material tersebut terhadap kuat tekan dan setting time grouting sehingga dapat memberikan dasar ilmiah dalam pemilihan bahan tambah yang paling efektif untuk aplikasi grouting.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan pengaruh penggunaan fly ash Tipe F dan Sika Intraplast Z terhadap kuat tekan serta setting time campuran grouting dengan faktor air semen tetap sebesar 0,40 menggunakan semen OPC Tipe I. Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan langsung antara material pozzolan dan bahan tambah ekspansif dalam satu rancangan eksperimen yang sama sehingga efektivitas masing-masing material dapat dievaluasi secara objektif. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi grouting serta menjadi referensi bagi praktisi konstruksi dalam memilih bahan tambah yang paling sesuai untuk meningkatkan kinerja campuran grouting.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan komparatif untuk menganalisis pengaruh penggunaan Fly Ash Tipe F dan Sika Intraplast Z terhadap kuat tekan dan setting time campuran grouting. Penelitian dilaksanakan pada salah satu perusahaan konstruksi spesialis beton pracetak di Kabupaten Cirebon, Jawa Barat, sedangkan seluruh pengujian dilakukan di laboratorium dalam kondisi terkontrol sesuai standar pengujian yang berlaku.

Campuran grouting menggunakan semen Ordinary Portland Cement (OPC) Tipe I dengan faktor air semen (FAS) tetap sebesar 0,40 atau setara dengan perbandingan air terhadap semen sebesar 0,40 : 1 berdasarkan berat. Nilai FAS dipertahankan konstan pada seluruh variasi campuran agar pengaruh penggunaan Fly Ash Tipe F maupun Sika Intraplast Z terhadap kuat tekan dan setting time dapat diamati secara objektif tanpa dipengaruhi perubahan kadar air.

Variabel bebas penelitian adalah jenis dan kadar bahan tambah, yaitu Fly Ash Tipe F sebagai substitusi parsial semen sebesar 16%, 18%, 20%, 22%, dan 24%, serta Sika Intraplast Z sebagai bahan tambah ekspansif sebesar 1% dan 2% dari berat semen. Pemilihan rentang kadar Fly Ash didasarkan pada berbagai penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kadar optimum substitusi fly ash pada material berbasis semen umumnya berada pada kisaran 15–25%, sehingga rentang 16–24% dipilih untuk mengidentifikasi komposisi optimum terhadap kuat tekan dan setting time. Sementara itu, dosis Sika Intraplast Z sebesar 1% dan 2% dipilih berdasarkan rekomendasi teknis pabrikan serta penelitian terdahulu mengenai penggunaan bahan tambah ekspansif pada grout sehingga pengaruh variasi dosis terhadap karakteristik grouting dapat dievaluasi secara komparatif.

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi kuat tekan dan setting time campuran grouting, sedangkan variabel kontrol yang dijaga tetap meliputi jenis semen, nilai FAS, metode pencampuran, ukuran benda uji, metode perawatan (curing), dan kondisi pengujian.

Material yang digunakan terdiri atas semen OPC Tipe I yang memenuhi persyaratan SNI 15-2049-2004, Fly Ash Tipe F yang memenuhi ASTM C618, air bersih yang bebas dari zat organik dan bahan pengotor, serta Sika Intraplast Z berbentuk serbuk sebagai bahan tambah ekspansif. Peralatan utama yang digunakan meliputi Compression Testing Machine (CTM), alat Vicat, mortar mixer, timbangan digital, cetakan silinder, bak curing, dan peralatan laboratorium pendukung lainnya.

Penelitian menggunakan delapan variasi campuran yang terdiri atas satu campuran kontrol (GK), lima variasi substitusi Fly Ash Tipe F (GFA-16, GFA-18, GFA-20, GFA-22, dan GFA-24), serta dua variasi penambahan Sika Intraplast Z (GSZ-1 dan GSZ-2). Setiap variasi campuran diuji terhadap kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan tiga benda uji untuk masing-masing umur pengujian serta satu sampel untuk pengujian setting time. Dengan demikian, jumlah keseluruhan benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 56 sampel. Rincian variasi campuran dan jumlah benda uji disajikan pada Tabel 1.

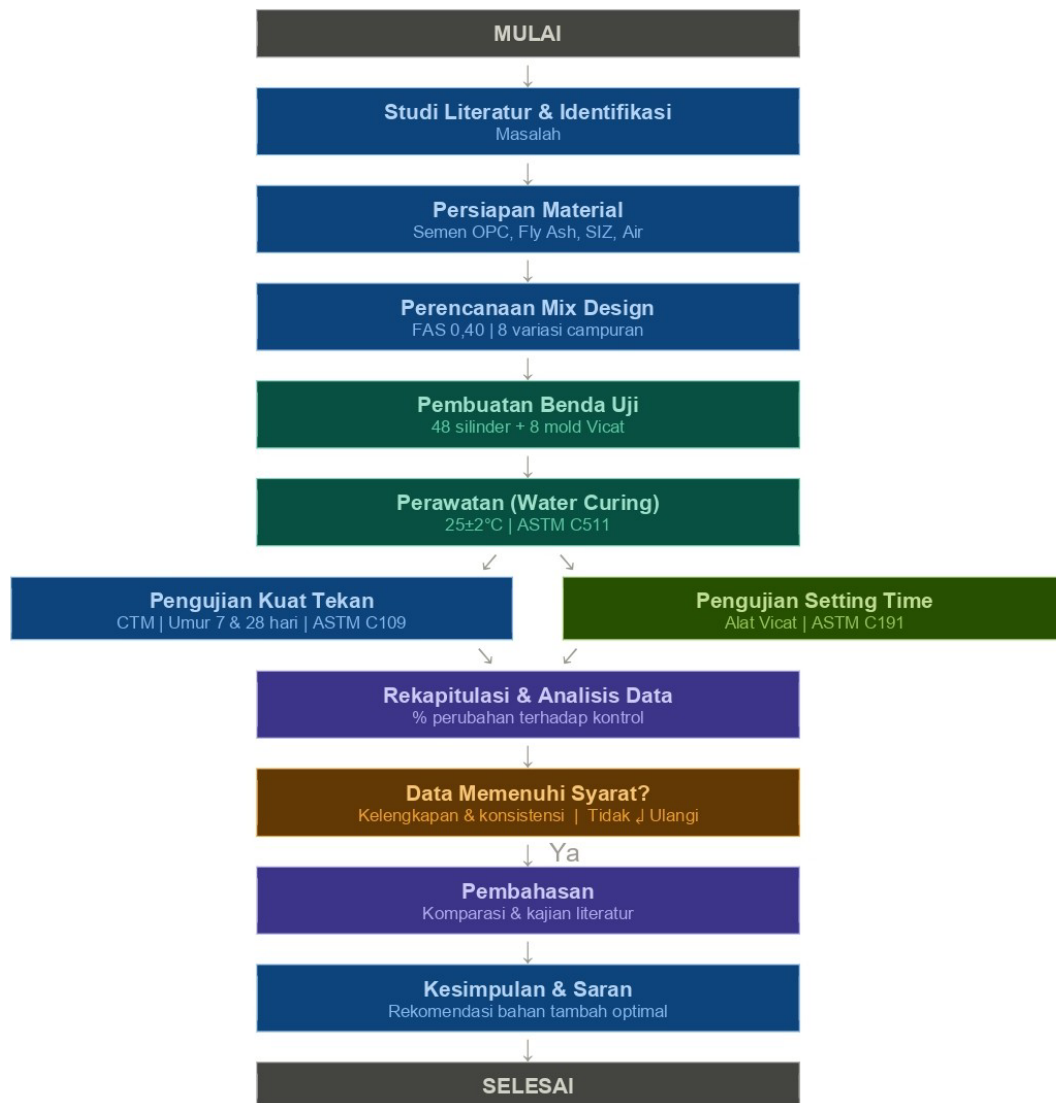
Tabel 1. Variasi Campuran dan Jumlah Benda Uji

Kode	Variasi Campuran	Kadar (%)	Kuat Tekan 7 Hari	Kuat Tekan 28 Hari	Setting Time	Total Sampel
GK	Kontrol	0	3	3	1	7
GFA-16	Fly Ash Tipe F	16	3	3	1	7
GFA-18	Fly Ash Tipe F	18	3	3	1	7
GFA-20	Fly Ash Tipe F	20	3	3	1	7
GFA-22	Fly Ash Tipe F	22	3	3	1	7
GFA-24	Fly Ash Tipe F	24	3	3	1	7
GSZ-1	Sika Intraplast Z	1	3	3	1	7
GSZ-2	Sika Intraplast Z	2	3	3	1	7
Total			24	24	8	56

Material ditimbang sesuai komposisi campuran, kemudian dicampur menggunakan mortar mixer hingga homogen. Campuran segar selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan silinder berdiameter 55 mm dan tinggi 110 mm, kemudian dipadatkan untuk meminimalkan rongga udara. Setelah proses pencetakan, benda uji didiamkan selama 24 jam sebelum dilepaskan dari cetakan, kemudian dirawat menggunakan metode water curing pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$ hingga mencapai umur pengujian. Tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan pada Gambar 1.

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM) sesuai ASTM C109 dan SNI 03-6825-2002. Pengujian setting time dilakukan menggunakan alat Vicat berdasarkan ASTM C191 dan SNI 03-6827-2002 untuk menentukan waktu ikat awal campuran grouting.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan nilai kuat tekan dan setting time setiap variasi campuran terhadap campuran kontrol. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengidentifikasi pengaruh penggunaan Fly Ash Tipe F dan Sika Intraplast Z serta menentukan komposisi yang memberikan kinerja grouting paling optimal.



Gambar 1. Bagan Alir Tahapan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan delapan variasi campuran grouting yang terdiri atas satu campuran kontrol, lima variasi substitusi Fly Ash Type F, dan dua variasi penambahan Sika Intraplast Z. Seluruh campuran dibuat menggunakan semen OPC Tipe I dengan faktor air semen (FAS) tetap sebesar 0,40. Variasi campuran dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan kadar bahan tambah terhadap karakteristik kuat tekan dan setting time grouting. Komposisi material pada setiap variasi campuran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Mix Design Grouting per Variasi Campuran

Material	GK	GFA-16	GFA-18	GFA-20	GFA-22	GFA-24	GSZ-1	GSZ-2
Semen OPC (g)	2402,9	2018,4	1970,4	1922,3	1874,3	1826,2	2402,9	2402,9
Fly Ash (g)	0	384,5	432,5	480,6	528,6	576,7	0	0
Sika Intraplast Z (g)	0	0	0	0	0	0	24,0	48,1
Air (ml)	961,2	961,2	961,2	961,2	961,2	961,2	961,2	961,2

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM), sedangkan pengujian setting time dilakukan menggunakan alat Vicat. Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan dan Setting Time

Kode	Bahan Tambah	Dosis (%)	Kuat Tekan 7 Hari (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Perubahan 28 Hari (%)	Setting Time (menit)	Perubahan ST (%)
GK/VK	Kontrol	0	23,16	35,79	—	105	—
GFA-16	Fly Ash Type F	16	30,18	34,67	-3,13	120	+14,29
GFA-18	Fly Ash Type F	18	31,30	40,71	+13,75	135	+28,57
GFA-20	Fly Ash Type F	20	27,79	33,41	-6,65	150	+42,86
GFA-22	Fly Ash Type F	22	26,66	32,00	-10,59	165	+57,14
GFA-24	Fly Ash Type F	24	28,78	30,32	-15,28	180	+71,43
GSZ-1	Sika Intraplast Z	1	16,14	22,18	-44,32	135	+28,57
GSZ-2	Sika Intraplast Z	2	11,09	14,46	-59,60	135	+28,57

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas Fly Ash Tipe F sebagai bahan substitusi parsial semen dan Sika Intraplast Z sebagai bahan tambah ekspansif. Karakteristik fisik kedua material tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Fly Ash Tipe F



Gambar 3. Sika Intraplast Z

Proses pembuatan benda uji meliputi pencampuran material, pencetakan benda uji silinder, perawatan (water curing), serta pengujian kuat tekan dan setting time. Dokumentasi tahapan penelitian disajikan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 7.



Gambar 4. Benda uji grouting



Gambar 5. Proses water curing



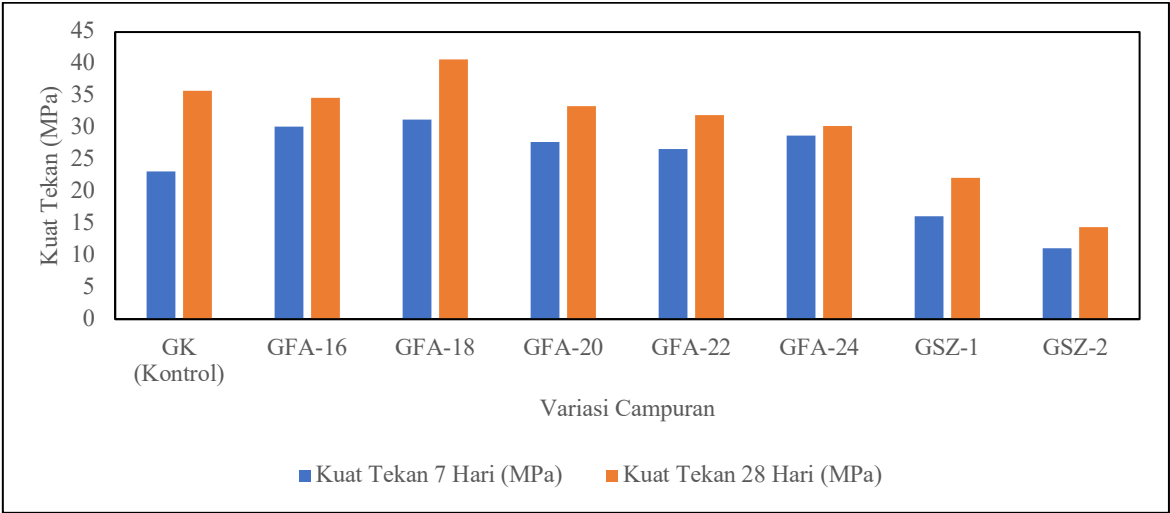
Gambar 6. Pengujian kuat tekan menggunakan CTM



Gambar 7. Pengujian setting time menggunakan alat Vicat

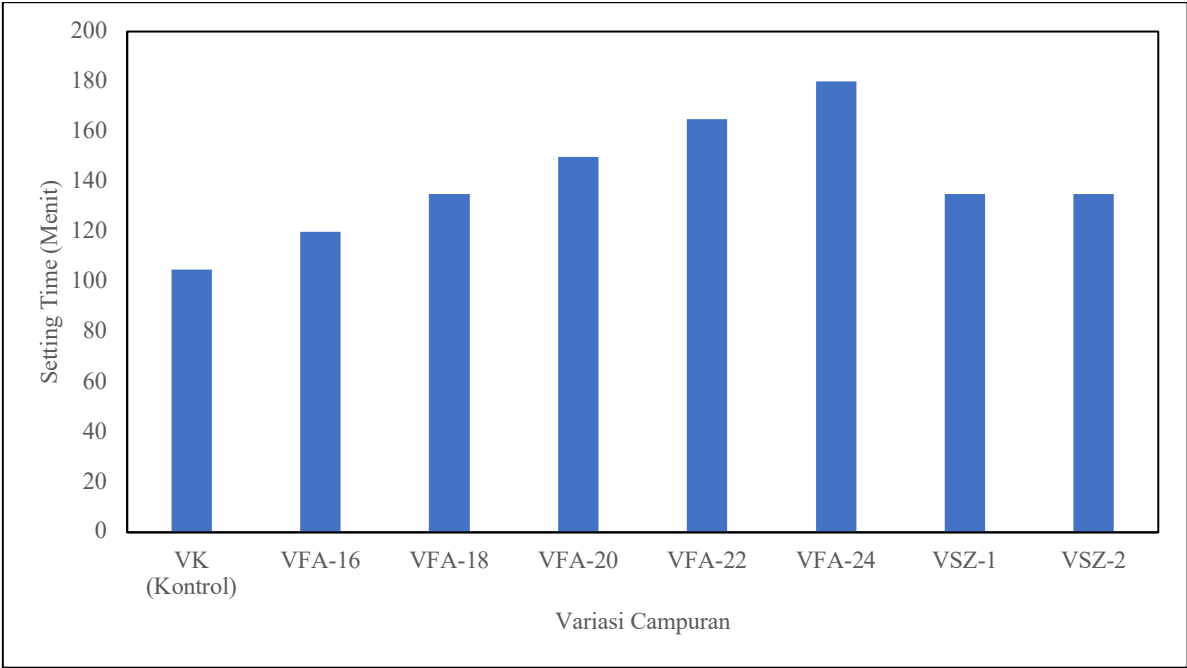
Hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari untuk seluruh variasi campuran dirangkum pada Tabel 3. Untuk memperjelas kecenderungan perubahan kuat tekan akibat penggunaan Fly Ash Tipe F dan Sika Intraplast Z, data tersebut divisualisasikan dalam Gambar 8.

Hasil pengujian setting time setiap variasi campuran disajikan pada Tabel 4. Perbandingan waktu ikat antar variasi campuran divisualisasikan dalam Gambar 9 sehingga kecenderungan perubahan setting time akibat penggunaan Fly Ash Tipe F dan Sika Intraplast Z dapat diamati dengan lebih jelas.



Gambar 8. Perbandingan Kuat Tekan Grouting Umur 7 dan 28 Hari

Tabel 3. Perbandingan Kuat Tekan Grouting Umur 7 dan 28 Hari				
Kode Variasi	Kadar (%)	Kuat Tekan 7 Hari (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Persentase terhadap Kontrol (%)
GK	-	23,16	35,79	100,00
GFA-16	16	30,18	34,67	96,87
GFA-18	18	31,30	40,71	113,74
GFA-20	20	27,79	33,41	93,35
GFA-22	22	26,66	32,00	89,41
GFA-24	24	28,78	30,32	84,71
GSZ-1	1	16,14	22,18	61,97
GSZ-2	2	11,09	14,46	40,40



Gambar 9. Perbandingan Setting Time Seluruh Variasi Campuran

Tabel 4. Perbandingan Setting Time Seluruh Variasi Campuran

Kode Variasi	Kadar (%)	Jenis Bahan Tambah	Setting Time (menit)
VK	-	Kontrol	105
VFA-16	16	Fly Ash Type F	120
VFA-18	18	Fly Ash Type F	135
VFA-20	20	Fly Ash Type F	150
VFA-22	22	Fly Ash Type F	165
VFA-24	24	Fly Ash Type F	180
VSZ-1	1	Sika Intraplast Z	135
VSZ-2	2	Sika Intraplast Z	135

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi Fly Ash Type F menghasilkan kuat tekan umur 7 hari yang lebih tinggi dibandingkan campuran kontrol. Kondisi ini mengindikasikan bahwa partikel halus fly ash berfungsi sebagai filler yang mampu mengisi rongga antarpartikel semen sehingga menghasilkan struktur pasta yang lebih padat. Temuan ini sejalan dengan penelitian Vasumithran et al. (2020) yang menjelaskan bahwa material pengisi berukuran halus dapat meningkatkan densitas mikrostruktur grout dan memperbaiki kekuatan awal.

Pada umur 28 hari, variasi GFA-18 menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 40,71 MPa atau meningkat 13,75% dibandingkan kontrol. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa pada kadar substitusi 18%, reaksi pozzolanik berlangsung secara optimal sehingga mampu menghasilkan produk hidrasi sekunder yang memperkuat matriks semen. Hasil ini sejalan dengan penelitian Zheng et al. (2022), Guo et al. (2022), serta Li et al. (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan fly ash pada kadar optimum mampu meningkatkan kekuatan mekanis grout melalui pembentukan struktur mikro yang lebih rapat dan homogen.

Meskipun demikian, peningkatan kadar fly ash di atas 18% menyebabkan penurunan kuat tekan. Pada variasi GFA-24, kuat tekan umur 28 hari turun menjadi 30,32 MPa. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah semen yang tersedia untuk proses hidrasi semakin berkurang sehingga produk hidrasi yang terbentuk tidak cukup untuk mengimbangi peningkatan volume material substitusi. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Ashad et al. (2020), Maghpiroh dan Iskandar (2023), Sukmawati et al. (2024), serta Morib et al. (2025), yang menemukan bahwa penggunaan material substitusi semen dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan penurunan kekuatan tekan akibat berkurangnya kandungan semen aktif dalam campuran.

Dari aspek setting time, peningkatan kadar Fly Ash Type F menyebabkan waktu ikat awal semakin lama. Nilai setting time meningkat dari 105 menit pada campuran kontrol menjadi 180 menit pada variasi GFA-24. Peningkatan ini disebabkan oleh rendahnya kandungan kalsium pada fly ash Type F sehingga reaksi hidrasi berlangsung lebih lambat dibandingkan semen Portland. Temuan tersebut sesuai dengan hasil penelitian Mohan et al. (2021) yang menyatakan bahwa fly ash dapat memperlambat proses pengerasan awal tetapi memberikan keuntungan berupa peningkatan workability dan stabilitas campuran.

Berbeda dengan Fly Ash Type F, penambahan Sika Intraplast Z menunjukkan kecenderungan menurunkan kuat tekan baik pada umur 7 hari maupun 28 hari. Variasi GSZ-1 menghasilkan kuat tekan 28 hari sebesar 22,18 MPa, sedangkan GSZ-2 hanya mencapai 14,46 MPa. Penurunan yang signifikan tersebut mengindikasikan bahwa dosis yang digunakan melebihi kebutuhan optimum campuran.

Sika Intraplast Z bekerja sebagai bahan tambah ekspansif yang menghasilkan pengembangan volume pada tahap awal pengerasan. Apabila dosis yang digunakan terlalu tinggi, proses ekspansi dapat meningkatkan jumlah rongga internal dan menurunkan kepadatan matriks semen. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan material dalam menahan beban tekan menjadi berkurang. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Meutia et al. (2022) yang menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambah ekspansif dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan penurunan kuat tekan grout akibat meningkatnya porositas campuran.

Pada pengujian setting time, kedua variasi Sika Intraplast Z menghasilkan waktu ikat awal yang sama, yaitu 135 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis dari 1% menjadi 2% tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses hidrasi awal. Dengan demikian, perubahan dosis lebih berpengaruh terhadap karakteristik kekuatan mekanis dibandingkan terhadap waktu ikat campuran.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, Fly Ash Type F menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan Sika Intraplast Z. Variasi GFA-18 menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 40,71 MPa pada umur 28 hari dengan setting time sebesar 135 menit. Nilai tersebut masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi grouting dan memberikan keseimbangan yang baik antara kekuatan mekanis dan kemudahan pelaksanaan di lapangan.

Sebaliknya, penggunaan Sika Intraplast Z pada dosis 1% dan 2% tidak mampu meningkatkan kuat tekan maupun memperbaiki karakteristik setting time secara signifikan. Seluruh variasi Sika Intraplast Z menghasilkan kuat tekan yang jauh lebih rendah dibandingkan campuran kontrol maupun campuran yang menggunakan fly ash.

Selain memberikan peningkatan kinerja teknis, penggunaan Fly Ash Type F juga memiliki manfaat dari aspek keberlanjutan. Substitusi semen sebesar 18% berpotensi mengurangi konsumsi semen dan memanfaatkan limbah hasil pembakaran batu bara yang selama ini menjadi permasalahan lingkungan. Temuan ini mendukung konsep konstruksi berkelanjutan sebagaimana dikemukakan oleh Ayuningtyas et al. (2022), Fashadad et al. (2021), Janah et al. (2021), dan Hanum et al. (2024) mengenai pentingnya pemanfaatan material limbah sebagai bahan konstruksi ramah lingkungan.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat dinyatakan bahwa Fly Ash Type F dengan kadar substitusi 18% merupakan komposisi optimum pada campuran grouting dengan FAS 0,40. Variasi tersebut memberikan kuat tekan tertinggi, setting time yang masih memenuhi kebutuhan pekerjaan lapangan, serta mendukung aspek ekonomi dan keberlanjutan lingkungan dibandingkan campuran kontrol maupun campuran dengan Sika Intraplast Z.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perbandingan pengaruh penggunaan Fly Ash Type F dan Sika Intraplast Z terhadap kuat tekan dan setting time campuran grouting dengan faktor air semen (FAS) 0,40, diperoleh beberapa temuan penting. Penggunaan Fly Ash Type F memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kuat tekan dan waktu ikat campuran grouting. Seluruh variasi fly ash menghasilkan kuat tekan umur 7 hari yang lebih tinggi dibandingkan campuran kontrol, sedangkan pada umur 28 hari diperoleh nilai optimum pada substitusi 18% (GFA-18) dengan kuat tekan sebesar 40,71 MPa atau meningkat 13,75% dibandingkan kontrol. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kandungan fly ash pada proporsi tertentu mampu meningkatkan densitas mikrostruktur dan menghasilkan produk hidrasi tambahan yang berkontribusi terhadap perkembangan kekuatan jangka panjang. Di sisi lain, peningkatan kadar fly ash menyebabkan setting time semakin lama, yaitu dari 120 menit pada kadar 16% hingga 180 menit pada kadar 24%, namun seluruh variasi masih memenuhi persyaratan waktu ikat yang berlaku.

Penambahan Sika Intraplast Z pada dosis 1% dan 2% tidak menunjukkan peningkatan kinerja grouting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua variasi tersebut mengalami penurunan kuat tekan yang signifikan dibandingkan campuran kontrol, dengan nilai kuat tekan 28 hari masing-masing sebesar 22,18 MPa dan 14,46 MPa. Setting time kedua variasi tersebut berada pada 135 menit, lebih lambat dibandingkan kontrol namun tidak menunjukkan perbedaan yang berarti antar dosis. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan Sika Intraplast Z pada dosis yang diteliti belum memberikan kondisi optimum untuk meningkatkan performa grouting.

Secara keseluruhan, Fly Ash Type F pada kadar substitusi 18% merupakan variasi yang memberikan kinerja terbaik karena mampu menghasilkan kuat tekan tertinggi dengan setting time yang masih dapat diterima untuk pelaksanaan pekerjaan grouting. Selain memberikan keuntungan teknis, penggunaan fly ash juga berpotensi mengurangi konsumsi semen dan memanfaatkan limbah industri sehingga mendukung aspek keberlanjutan dalam konstruksi.

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar penelitian selanjutnya mengkaji rentang kadar Fly Ash Type F yang lebih sempit di sekitar kadar optimum 18% untuk memperoleh komposisi yang lebih presisi. Penelitian lanjutan juga perlu mengevaluasi penggunaan Sika Intraplast Z pada dosis

yang lebih rendah sesuai rekomendasi teknis pabrikan, serta melakukan pengujian pada umur yang lebih panjang, seperti 56 hari dan 90 hari, guna memperoleh gambaran perkembangan sifat mekanis grouting secara lebih komprehensif. Selain itu, pengujian karakteristik lain seperti flowability, bleeding, ekspansi, permeabilitas, dan analisis mikrostruktur disarankan untuk memperkuat pemahaman mengenai mekanisme yang terjadi pada campuran grouting dengan bahan tambah Fly Ash Type F maupun Sika Intraplast Z.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashad, H., Supardi, S., Mappiasse, A., Zhahir, A.M.I., & Surya, D.P. (2020). Pemanfaatan limbah pembakaran batu bara sebagai bahan substitusi parsial semen. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 5(1), 76–83.
- Ayuningtyas, U., Susila, I.M.A.D., Sihombing, A.L.S., Sasongko, N.A., Anggraeni, P., Nugroho, T.P.A., & Darmayanti, N.T.E. (2022). Pemanfaatan fly ash dan bottom ash sebagai material konstruksi ramah lingkungan dalam rangka mendukung kriteria bangunan hijau. *Proceedings of National Colloquium Research and Community Service*, 6, 51–56.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002a). *SNI 03-6825-2002: Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002b). *SNI 03-6827-2002: Metode pengujian waktu ikat awal semen Portland dengan menggunakan alat Vicat untuk pekerjaan sipil*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004: Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chandra, D. (2021). Analisa pengaruh aktivator kalium dan kondisi material pada beton geopolimer dari limbah B3 fly ash batubara terhadap kuat tekan. *Jurnal Rekayasa*, 11(1), 1–16.
- Dinata, R.B., Setiawan, A., & Yuniarto, E. (2023). Kadar admixture berbagai jenis superplasticizer dan karakteristik mortar grouting. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 1(1), 1–9.
- Fashadad, I., Habsya, C., & Agustin, R.S. (2021). Pemanfaatan fly ash sebagai bahan substitusi parsial semen pada kolom struktur modular beton ramah lingkungan. *Indonesian Journal of Civil Engineering Education*, 7(2), 66–72.
- Hanum, F.F., Wardhana, B.S., Suharto, T.E., & Febriani, A.V. (2024). Karakterisasi komposisi kimia dan potensi pemanfaatan campuran tanah gambut Kalimantan Timur dengan fly ash dan bottom ash untuk pertanian. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya*, 6(2), 115–123.
- Janah, I., Habsya, C., & Agustin, R.S. (2021). Pemanfaatan fly ash sebagai bahan substitusi parsial semen pada segmen kolom struktur modular beton ramah lingkungan. *Indonesian Journal of Civil Engineering Education*, 7(1), 9–14.
- Kamarullah, R.A., Hamkah, H., & Istia, P.T. (2025). Rancangan campuran beton admixture menggunakan SikagROUT 215 New. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, 2(7), 1211–1221.
- Li, L., Wang, Y., Mu, W., Wang, X., Wei, J., & Li, X. (2025). Grouting characteristics of cement-based materials added multitype additives considering the time-varying rheology. *Construction and Building Materials*, 472, 140914.
- Maghpiroh, A., & Iskandar, D. (2023). Pengaruh penambahan fly ash terhadap kualitas semen di PT Semen Baturaja Tbk. *DE FACTO: Journal of International Multidisciplinary Sciences*, 1(2), 79–95.
- Mohammed, A., & Al-Saadi, N.T.K. (2020). Ultra-high early strength cementitious grout suitable for additive manufacturing applications fabricated by using graphene oxide and viscosity modifying agents. *Polymers*, 12(12), 2900.
- Mohammed, A., Mahmood, W., & Ghafor, K. (2020). TGA, rheological properties with maximum shear stress and compressive strength of cement-based grout modified with polycarboxylate polymers. *Construction and Building Materials*, 235, 117534.
- Morib, M.A., Ariyani, N., Gea, A.P., & Halawa, R. (2025). Pengaruh abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen terhadap karakteristik beton SCC. *Jurnal Teknik Sipil UKRIM*, 2(1), 19–28.
- Sofyan, M., Fadilah, M.A., Azzahra, T., & Humairotunnisa, Y.D. (2022). Pengaruh variasi faktor air semen pada pemanfaatan slag mutu beton tingkat tinggi. *Jurnal Forum Mekanika*, 11(1), 1–10.
- Sukmawati, Y., Muhtar, M., & Ahmad, H.H. (2024). Dampak penambahan fly ash batu bara terhadap kinerja balok beton bertulang tunggal. *Rekayasa*, 17(2), 286–297.
- Susilowati, A., & Nabhan, F. (2021). Pengaruh variasi faktor air semen terhadap mortar busa. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 1(2), 9–15.

- Triadi, D., & Rustamaji, R.M. (2020). Pengaruh penambahan limbah batu bara (fly ash) terhadap uji kuat tekan bebas (UCS) pada tanah timbunan biasa. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 7(3), 1–8.
- Zheng, G., Huang, J., Diao, Y., Ma, A., Su, Y., Jiao, C., & Chen, H. (2022). Experimental study on preparation and optimization of high-performance cement grouts mixed with chemical additives for capsule grouting technology. *Journal of Materials Research and Technology*, 17, 1469–1484.
- Zheng, G., Gan, W., Huang, J., Diao, Y., Yan, Y., Zhang, X., Zhou, H., et al. (2026). Performance and optimization of rapid-setting and high-early-strength cement-based grout incorporating chemical additives used in capsule expansion technology. *Case Studies in Construction Materials*, 24, e05977.