

Pengaruh Penambahan Pasir Besi Dan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Campuran Beton

Caleb Lumbaa¹, Hernita Matana², Bastian A. Ampangallo³

1 Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale, Tana Toraja, 91811, Indonesia

2,3 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale, Tana Toraja, 91811, Indonesia

corresponding author : lumbaacaleb@gmail.com

ABSTRAK

Kata Kunci:

Beton
Pasir Besi
Silica Fume
Agregat Halus
Kuat Tekan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan pasir besi sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan variasi 3%, 5%, dan 7% dari volume agregat halus, yang dikombinasikan dengan silica fume sebesar 2% dari berat semen, terhadap kuat tekan beton. Penelitian menggunakan metode studi eksperimental di laboratorium, dengan benda uji berbentuk silinder berukuran 10 cm × 20 cm sebanyak 48 buah, yang dirawat dan diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari mengikuti pedoman perancangan campuran beton SNI 7656:2012. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton kontrol (normal) pada umur 28 hari mencapai 18,89 MPa. Seluruh variasi campuran dengan penambahan pasir besi dan silica fume mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan beton kontrol. Di antara variasi yang diuji, kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran 3% pasir besi dan 2% silica fume, yaitu sebesar 12,95 MPa, sedangkan variasi 5% dan 7% masing-masing menghasilkan 11,46 MPa dan 10,61 MPa. Penurunan kuat tekan ini diduga berkaitan dengan sifat fisik pasir besi yang mengubah distribusi butiran dan meningkatkan porositas beton sehingga ikatan antarpartikel melemah.

Keywords:

Concrete
Iron Sand
Silica Fume
Fine Aggregate
Compressive Strength

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of adding iron sand as a partial substitute for fine aggregate at variations of 3%, 5%, and 7% of the fine aggregate volume, combined with silica fume at 2% of the cement weight, on the compressive strength of concrete. The research employed an experimental laboratory method using 48 cylindrical specimens measuring 10 cm × 20 cm, cured and tested at the ages of 3, 7, 14, and 28 days, following the concrete mix design guidelines of SNI 7656:2012. The results show that the compressive strength of the control (normal) concrete at 28 days reached 18.89 MPa. All mixture variations containing iron sand and silica fume showed a decrease in compressive strength compared to the control concrete. Among the tested variations, the highest strength was obtained from the mixture with 3% iron sand and 2% silica fume, at 12.95 MPa, while the 5% and 7% variations produced 11.46 MPa and 10.61 MPa, respectively. This reduction is presumed to be related to the physical properties of iron sand, which alter the particle-size distribution and increase concrete porosity, thereby weakening the inter-particle bond.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



I. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur seperti gedung bertingkat, perumahan, jalan, dan jembatan terus berlangsung secara masif di Indonesia guna menunjang kehidupan masyarakat. Dalam setiap pembangunan tersebut, beton menjadi material pondasi utama karena keunggulannya dalam memikul beban besar, tahan terhadap suhu tinggi, serta memiliki biaya perawatan yang relatif rendah. Beton pada dasarnya tersusun dari agregat kasar, agregat halus, semen, dan air, dengan agregat halus yang umum digunakan berupa pasir sungai. Pasir sungai memiliki butiran yang relatif besar sehingga beton yang dihasilkan cenderung kurang padat, kurang kuat, dan kurang tahan lama, sehingga diperlukan alternatif bahan yang dapat meningkatkan kepadatan campuran beton.

Pasir besi merupakan salah satu sumber daya alam yang tersebar luas di sepanjang garis pantai Indonesia, dengan total sumber daya diperkirakan mencapai 4.280 juta ton dan cadangan 750 juta ton, derajat kemagnetan endapan pasir 65%, dan kandungan Fe mencapai 45% (Kementerian ESDM, 2018). Pasir besi memiliki komposisi utama berupa oksida besi (Fe_2O_3), silika dioksida (SiO_2), dan magnesium (MgO), dengan ukuran butiran yang jauh lebih halus dibandingkan pasir sungai konvensional. Menurut Suryadi (2001) dalam Prasetyo (2011), pasir besi adalah pasir yang banyak mengandung unsur besi. Penelitian Suryadi (2007) menunjukkan bahwa penambahan 5% serbuk pasir besi pada benda uji silinder beton mampu meningkatkan kuat tekan sebesar 3,64% serta modulus elastisitas sebesar 8,68% dibandingkan beton normal tanpa campuran serbuk pasir besi, sehingga pasir besi berpotensi digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan beton.

Selain pasir besi, silika fume juga digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan tambah pozzolan. Silika fume merupakan hasil sampingan produksi logam silikon atau alloy ferosilikon, berbentuk serbuk sangat halus dengan diameter partikel sekitar 100 kali lebih kecil dari partikel semen, sehingga mampu mengisi rongga-rongga di antara butiran semen dan mengurangi ukuran serta volume total pori beton. Menurut Rahady (2019), pemanfaatan silika fume di bawah 3% dari berat semen belum mampu menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari kuat tekan awal beton, sedangkan penggunaan yang menguntungkan sebaiknya tidak melebihi 10% dari berat semen. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang bervariasi terkait pengaruh kombinasi pasir besi dan silika fume terhadap kuat tekan beton, sehingga diperlukan kajian eksperimental lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh keduanya secara bersamaan, khususnya pada rentang persentase substitusi pasir besi yang lebih tinggi (3%, 5%, dan 7%).

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan pasir besi sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan penambahan silika fume terhadap kuat tekan beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan pasir besi dengan penambahan silika fume terhadap kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis bagi pengembangan studi material beton berbasis sumber daya lokal, sekaligus menjadi bahan pertimbangan praktis bagi pelaku konstruksi dalam memanfaatkan pasir besi dan silika fume sebagai alternatif bahan campuran beton yang lebih efisien.

II. Metode

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja. Sampel pasir besi diambil dari Sungai Tikala, Kecamatan Tikala, Kabupaten Toraja Utara, sedangkan agregat kasar dan agregat halus (pasir sungai) diperoleh dari PT. Gusti Prima yang berlokasi di daerah Lampan, Kecamatan Rantepao, Kabupaten Toraja Utara, sekitar 3 km dari kota Rantepao. Pelaksanaan penelitian, meliputi pengujian karakteristik bahan hingga pengujian kuat tekan beton.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland tipe I dalam kemasan 50 kg, agregat kasar dan agregat halus dari Lampan, pasir besi dari Sungai Tikala, silika fume, serta air yang tersedia di laboratorium. Peralatan yang digunakan mencakup satu set saringan agregat (ukuran $1\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, dan No. 200) beserta mesin penggetar, mesin Los Angeles untuk pengujian abrasi agregat kasar, timbangan digital, cetakan silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm, piknometer, kerucut Abrams dan batang penumbuk untuk pengujian slump, jangka sorong, gelas ukur, oven, bak rendam untuk perawatan benda uji, serta Compressing Test Machine (CTM) untuk pengujian kuat tekan beton.

C. Rancangan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan beton kontrol (tanpa pasir besi dan silika fume) terhadap tiga variasi campuran beton yang menggunakan pasir besi pada kadar 3%, 5%, dan 7% dari volume agregat halus, yang masing-masing dikombinasikan dengan silika fume sebesar 2% dari berat semen. Setiap variasi campuran dibuat dalam bentuk benda uji silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm, sebanyak tiga sampel untuk setiap umur pengujian (3, 7, 14, dan 28 hari), sehingga total benda uji yang digunakan berjumlah 48 buah, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Variasi Benda Uji

No	Kode	Variasi Campuran	Umur Pengujian (hari)	Sampel / Umur	Total Sampel
1	BK	Beton kontrol (tanpa pasir besi dan silika fume)	3, 7, 14, 28	3	12
2	PB3	Pasir besi 3% + silika fume 2%	3, 7, 14, 28	3	12
3	PB5	Pasir besi 5% + silika fume 2%	3, 7, 14, 28	3	12

4	PB7	Pasir besi 7% + silica fume 2%	3, 7, 14, 28	3	12
---	-----	--------------------------------	--------------	---	----

D. Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahap yang berurutan. Tahap pertama adalah persiapan alat dan bahan. Tahap kedua adalah pengujian karakteristik agregat, meliputi analisa saringan (gradasi), kadar lumpur, kadar air, berat jenis (bulk, SSD, dan semu), penyerapan air, serta bobot isi dalam kondisi padat dan lepas, mengikuti standar SNI 1970:2016 (berat jenis dan penyerapan agregat halus), SNI 03-4428 (kadar lumpur agregat), dan SNI 03-1971-1990 (kadar air agregat). Tahap ketiga adalah perancangan campuran beton (mix design) untuk mutu rencana f'_c 20 MPa mengikuti pedoman SNI 7656:2012.

Tahap keempat adalah pembuatan benda uji, di mana campuran beton segar diaduk sesuai proporsi hasil mix design, dituang ke dalam cetakan silinder, dan dipadatkan. Sebelum dicetak, setiap adukan diuji nilai slump-nya menggunakan kerucut Abrams mengikuti SNI 1972:2008 untuk memastikan tingkat workability campuran berada pada rentang slump rencana 75–100 mm. Tahap kelima adalah perawatan (curing) benda uji dengan cara perendaman dalam bak rendam sesuai SNI 2493:2011, hingga mencapai umur pengujian yang ditentukan, yaitu 3, 7, 14, dan 28 hari. Tahap keenam adalah pengujian kuat tekan beton menggunakan Compressing Test Machine (CTM) mengikuti SNI 03-1974-1990 dan SNI 1974:2011, dengan nilai kuat tekan dihitung menggunakan persamaan:

$$f'_c = P / A$$

dengan f'_c adalah kuat tekan beton (MPa atau N/mm²), P adalah beban tekan maksimum pada saat benda uji hancur (N), dan A adalah luas penampang silinder (mm²).

E. Metode Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung nilai kuat tekan rata-rata dari tiga sampel pada setiap variasi campuran dan umur pengujian. Nilai rata-rata kuat tekan pada setiap variasi kemudian dibandingkan terhadap beton kontrol untuk mengetahui besarnya pengaruh penambahan pasir besi dan silica fume. Hasil perbandingan tersebut selanjutnya dibahas dengan mengaitkannya pada karakteristik fisik dan sifat pozzolan bahan tambah yang digunakan, serta dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yang relevan.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Karakteristik Agregat Halus dan Pasir Besi

Hasil pengujian karakteristik agregat halus dan pasir besi yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Kedua bahan tersebut diuji meliputi kadar lumpur, bobot isi (kondisi padat dan lepas), kadar air, berat jenis (bulk, SSD, dan semu), serta penyerapan air.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0,2% – 5%	2,805%	Memenuhi
2	Bobot Isi Kondisi Padat	1,2 – 1,9 gr/cm ³	1,395	Memenuhi
3	Bobot Isi Kondisi Lepas	1,2 – 1,9 gr/cm ³	1,291	Memenuhi
4	Kadar Air	3% – 5%	2,888%	Memenuhi
5	Berat Jenis Bulk (Kering Oven)	1,6 – 3,1	2,150	Memenuhi
6	Berat Jenis Bulk (Kering Permukaan/SSD)	1,6 – 3,1	2,240	Memenuhi
7	Berat Jenis Semu (Apparent)	1,6 – 3,1	2,362	Memenuhi
8	Penyerapan Air	0,2% – 5%	4,275%	Memenuhi

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir Besi

No	Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0,2% – 6%	1,937%	Memenuhi
2	Bobot Isi Kondisi Padat	1,2% – 1,9%	1,986	Memenuhi
3	Bobot Isi Kondisi Lepas	1,2% – 1,9%	1,890	Memenuhi
4	Kadar Air	0,5% – 5%	1,317%	Memenuhi

5	Berat Jenis Bulk (Kering Oven)	1,6% – 3,1%	2,883	Memenuhi
6	Berat Jenis Bulk (Kering Permukaan/SSD)	1,6% – 3,2%	2,954	Memenuhi
7	Berat Jenis Semu (Apparent)	1,6% – 3,1%	3,107	Memenuhi
8	Penyerapan Air	0,2% – 5%	2,461%	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, seluruh parameter pengujian agregat halus dan pasir besi berada pada rentang yang dipersyaratkan standar ASTM, sehingga kedua bahan tersebut layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton. Nilai berat jenis pasir besi (2,883–3,107) tampak lebih tinggi dibandingkan agregat halus (2,150–2,362), yang sejalan dengan sifat pasir besi yang mengandung mineral oksida besi (Fe_2O_3) sehingga memiliki massa jenis yang relatif lebih besar dibandingkan pasir sungai biasa.

B. Rancangan dan Proporsi Campuran Beton

Perancangan campuran beton mutu f'_c 20 MPa dilakukan mengikuti pedoman SNI 7656:2012, menghasilkan proporsi campuran untuk 1 m³ beton sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Proporsi tersebut kemudian dikoreksi terhadap volume satu buah benda uji silinder (0,00157 m³) untuk memperoleh kebutuhan bahan pada setiap benda uji, sebagaimana disajikan pada Tabel 5, dengan pasir besi dan silica fume ditambahkan pada masing-masing variasi campuran sesuai persentase yang direncanakan.

Tabel 4. Proporsi Campuran untuk 1 m³ Beton Mutu f'_c 20 Mpa

Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Batu Pecah (kg)
297,101	223,98	2596,795	2330,025

Tabel 5. Proporsi Campuran per Benda Uji Silinder (Volume 0,00157 m³)

Bahan	Kontrol	PB 3% + SF 2%	PB 5% + SF 2%	PB 7% + SF 2%
Semen (kg)	0,466	0,466	0,466	0,466
Air (kg)	0,351	0,351	0,351	0,351
Pasir (kg)	4,076	4,076	4,076	4,076
Batu Pecah (kg)	3,658	3,658	3,658	3,658
Pasir Besi (kg)	–	0,122	0,203	0,305
Silica Fume (kg)	–	0,009	0,009	0,009

C. Hasil Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan pada setiap adukan beton segar sebelum dicetak untuk mengetahui tingkat kelecakan (workability) campuran. Hasil pengujian slump untuk beton kontrol dan ketiga variasi campuran disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Slump Beton

Bahan	Kontrol	PB 3% + SF 2%	PB 5% + SF 2%	PB 7% + SF 2%
Semen (kg)	0,466	0,466	0,466	0,466
Air (kg)	0,351	0,351	0,351	0,351
Pasir (kg)	4,076	4,076	4,076	4,076
Batu Pecah (kg)	3,658	3,658	3,658	3,658
Pasir Besi (kg)	–	0,122	0,203	0,305
Silica Fume (kg)	–	0,009	0,009	0,009

Berdasarkan Tabel 6, seluruh campuran beton, baik kontrol maupun variasi dengan pasir besi dan silica fume, menghasilkan nilai slump yang memenuhi slump rencana sebesar 75–100 mm, meskipun proporsi mix design yang digunakan sama. Variasi nilai slump antar-campuran dapat disebabkan oleh perbedaan tingkat pemadatan saat pengisian kerucut Abrams maupun tingkat homogenitas pengadukan campuran.

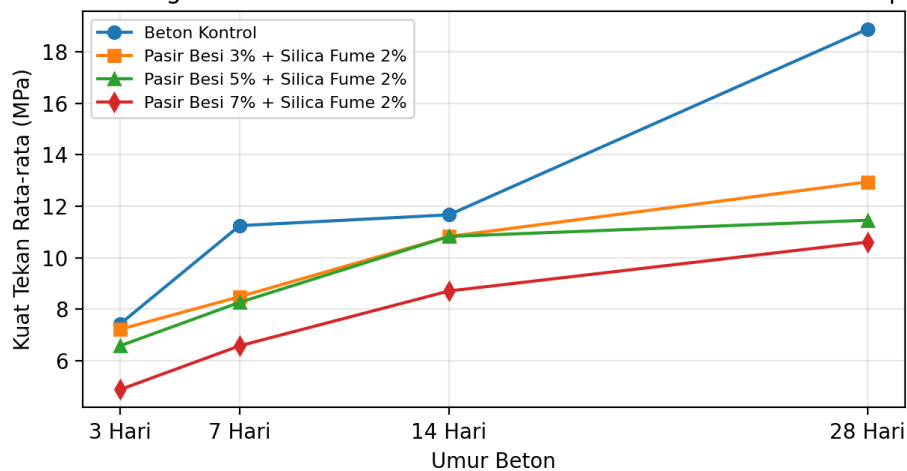
D. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, dan 28 hari menggunakan Compressing Test Machine (CTM) terhadap tiga benda uji pada setiap variasi dan umur. Rekapitulasi nilai kuat tekan rata-rata disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 1.

Tabel 7. Rekapitulasi Kuat Tekan Rata-rata Beton (MPa)

Jenis Beton	Umur 3 Hari	Umur 7 Hari	Umur 14 Hari	Umur 28 Hari
Beton Kontrol	7,43	11,25	11,67	18,89
Pasir Besi 3% + Silica Fume 2%	7,22	8,49	10,83	12,95
Pasir Besi 5% + Silica Fume 2%	6,58	8,27	10,83	11,46
Pasir Besi 7% + Silica Fume 2%	4,88	6,58	8,71	10,61

Perkembangan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur dan Variasi Campur



Gambar 1. Grafik Perkembangan Kuat Tekan Beton terhadap Umur pada Setiap Variasi Campuran

Tabel 7 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa beton kontrol memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada setiap umur pengujian, dengan kuat tekan pada umur 28 hari mencapai 18,89 MPa. Penambahan pasir besi yang dikombinasikan dengan silica fume 2% pada seluruh variasi (3%, 5%, dan 7%) justru menyebabkan penurunan kuat tekan dibandingkan beton kontrol pada setiap umur pengujian. Penurunan tersebut semakin nyata seiring bertambahnya kadar pasir besi, dengan variasi 7% pasir besi menghasilkan kuat tekan terendah pada seluruh umur pengujian, yaitu 4,88 MPa (umur 3 hari) hingga 10,61 MPa (umur 28 hari). Meskipun demikian, seluruh variasi campuran tetap menunjukkan pola peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton, sejalan dengan proses hidrasi semen yang terus berlangsung, namun peningkatannya tidak mampu menyamai capaian kuat tekan beton kontrol.

E. Pembahasan Pengaruh Penambahan Pasir Besi dan Silica Fume terhadap Kuat Tekan Beton

Penurunan kuat tekan pada beton dengan campuran pasir besi dan silica fume dalam penelitian ini diduga berkaitan dengan sifat fisik pasir besi yang berbeda dari agregat halus alami. Ukuran butiran pasir besi yang jauh lebih halus dibandingkan pasir sungai (berkisar 80–100 mesh) berpotensi mengubah gradasi dan distribusi butiran agregat halus dalam campuran, sehingga rongga antarbutir tidak terisi secara optimal dan porositas beton meningkat. Kondisi ini melemahkan ikatan antarpartikel dalam matriks beton, meskipun berat jenis pasir besi (2,883–3,107) lebih tinggi dibandingkan agregat halus biasa (2,150–2,362).

Silica fume yang digunakan pada kadar 2% dari berat semen secara teori bersifat pozzolanik dan dapat meningkatkan kekuatan beton dengan mengisi pori-pori mikro serta mempercepat reaksi hidrasi semen. Namun, Rahady (2019) menyatakan bahwa penggunaan silica fume di bawah 3% dari berat semen belum cukup untuk menutup permukaan seluruh partikel agregat secara efektif, sehingga kontribusinya terhadap peningkatan kuat tekan menjadi terbatas, khususnya ketika dikombinasikan dengan pasir besi pada kadar substitusi yang cukup tinggi (5% dan 7%). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana efek positif silica fume tidak mampu

mengimbangi penurunan kuat tekan akibat perubahan gradasi dan peningkatan porositas yang ditimbulkan oleh penambahan pasir besi.

Hasil penelitian ini berbeda dengan temuan Firjatullah (2021) yang melaporkan kuat tekan optimum sebesar 51,71 MPa pada campuran beton mutu tinggi dengan pasir besi, silica fume, dan superplasticizer, serta Olivia (2013) yang menunjukkan bahwa penambahan silica fume 4–10% pada beton berbahan agregat pasir laut dapat meningkatkan kuat tekan hingga mencapai kekuatan rencana 55 MPa. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh tidak digunakannya bahan tambah superplasticizer dalam penelitian ini, serta kadar silica fume yang relatif lebih rendah (2%) dibandingkan penelitian-penelitian tersebut, sehingga workability dan pemadatan campuran tidak seoptimal penelitian dengan superplasticizer. Selain itu, Pasulu (2023) juga melaporkan bahwa kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan variasi silica fume dan bahan tambah lain mencapai nilai maksimum pada kadar tertentu dan cenderung menurun pada kadar yang lebih tinggi, menegaskan bahwa hubungan antara kadar bahan tambah dan kuat tekan beton tidak selalu linear, melainkan memiliki titik optimum yang perlu ditentukan melalui pengujian eksperimental.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi pasir besi terhadap agregat halus dengan tambahan silica fume 2% perlu dipertimbangkan secara hati-hati, terutama untuk aplikasi struktural yang menuntut kuat tekan tinggi. Di antara variasi yang diuji, kadar substitusi 3% pasir besi memberikan kuat tekan tertinggi (12,95 MPa pada umur 28 hari) dibandingkan kadar 5% dan 7%, sehingga dapat dijadikan acuan awal apabila pasir besi hendak dimanfaatkan sebagai bahan substitusi agregat halus, dengan catatan bahwa optimalisasi lebih lanjut, misalnya melalui penambahan superplasticizer atau penyesuaian kadar silica fume, masih diperlukan untuk mendekati atau melampaui kuat tekan beton normal.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pasir besi sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan penambahan silica fume 2% dari berat semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Beton kontrol (normal) menghasilkan kuat tekan tertinggi pada seluruh umur pengujian, dengan nilai 18,89 MPa pada umur 28 hari. Seluruh variasi campuran dengan penambahan pasir besi (3%, 5%, dan 7%) dan silica fume 2% menunjukkan penurunan kuat tekan dibandingkan beton kontrol, dengan kuat tekan tertinggi di antara variasi tersebut diperoleh pada campuran 3% pasir besi, yaitu 12,95 MPa pada umur 28 hari, sedangkan variasi 5% dan 7% menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah, yaitu masing-masing 11,46 MPa dan 10,61 MPa.

Penurunan kuat tekan ini disebabkan oleh semakin tingginya kadar pasir besi yang ditambahkan, yang mengakibatkan distribusi butiran dalam campuran beton menjadi kurang seimbang, sehingga porositas beton meningkat dan ikatan antarpartikel melemah. Akibatnya, beton dengan penambahan pasir besi tidak sepadat beton normal dan kuat tekannya menurun, meskipun secara umum seluruh variasi tetap menunjukkan peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mencoba variasi kadar pasir besi dan silica fume yang lebih luas, menambahkan bahan pendukung seperti superplasticizer untuk memperbaiki workability dan pemadatan campuran, serta menguji sifat mekanik beton lainnya seperti kuat tarik belah dan modulus elastisitas. Uji coba pada skala lapangan juga perlu dilakukan agar hasil penelitian lebih representatif terhadap kondisi konstruksi yang sesungguhnya.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian ESDM, Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral Indonesia. Jakarta, Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI, 2018.
- [2] Suryadi, dikutip dalam A. Prasetyo, "Kajian penggunaan pasir besi sebagai bahan tambah pada campuran beton," Tugas Akhir, 2011.
- [3] Suryadi, "Pengaruh penambahan serbuk pasir besi terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton," 2007.
- [4] Rahady, "Pemanfaatan silica fume pada campuran beton mutu tinggi," 2019.
- [5] B. A. Firjatullah, "Karakteristik Beton Mutu Tinggi dengan Penggunaan Pasir Besi sebagai Pengganti Agregat Halus dengan Penambahan Silica Fume dan Superplasticizer," Tugas Akhir, 2021.
- [6] M. Olivia, "Sifat Mekanis dan Rembesan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Agregat Halus Pasir Laut dan Bahan Tambah Silica Fume," 2013.
- [7] A. Pasulu, "Penggunaan Silica Fume sebagai Substitusi Semen dengan Bahan Tambah Abu Pecahan Karang pada Beton," 2023.
- [8] I. Agus, "Studi eksperimental substitusi pasir besi terhadap nilai kuat tekan beton," Jurnal Universitas Dayanu Ikhsanuddin, 2017.

-
- [9] E. Agusri, "Pengaruh penambahan pasir besi terhadap kuat tekan beton K-300," Jurnal Universitas Muhammadiyah Palembang, 2019.
- [10] T. Mulyono, Teknologi Beton. Yogyakarta, Indonesia: Andi, 2005.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta, Indonesia: BSN, 2002.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, SNI 7656:2012: Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa. Jakarta, Indonesia: BSN, 2012.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1974:2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta, Indonesia: BSN, 2011.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, SNI 2493:2011: Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta, Indonesia: BSN, 2011.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1970:2016: Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta, Indonesia: BSN, 2016.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1972:2008: Cara Uji Slump Beton. Jakarta, Indonesia: BSN, 2008.