

Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Kapur dan Silica Fume Sebagai Bahan Tambah Semen

M. Aldi Hadrian*, Rahmawati, Hamsyah

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare, Sulawesi Selatan

*Koresponden email: Aldhyhadrian@gmail.com

Diterima: 13 September 2025

Disetujui: 20 September 2025

Abstract

Cement is the main material in concrete production; however, its manufacturing process generates significant CO₂ emissions that negatively affect the environment. Therefore, alternative materials are needed to partially replace cement with more environmentally friendly options. This study aims to analyze the effect of lime and silica fume on the compressive strength of concrete and compare the results with normal concrete. The research was conducted using an experimental method with three variations of concrete mixtures: normal concrete, concrete with 5% substitution of lime and silica fume, and concrete with 10% substitution based on cement weight. The results showed that normal concrete achieved an average compressive strength of approximately 20.6 MPa. At 5% substitution, the compressive strength increased to 21.258 MPa (an improvement of about 3.17%), while at 10% substitution it reached 21.898 MPa (an improvement of about 6.29%). These findings indicate that the addition of lime and silica fume can enhance the compressive strength of concrete, although the improvement is relatively minor. Further analysis is required to determine whether this difference is technically significant or merely a result of experimental variation. Overall, lime and silica fume have the potential to serve as partial cement substitutes that support the development of environmentally friendly concrete while maintaining its technical performance.

Keywords: compressive strength, lime, silica fume, cement, substitution

Abstrak

Semen merupakan bahan utama dalam pembuatan beton, tetapi proses produksinya menyumbang emisi CO₂ dalam jumlah besar yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan material alternatif sebagai pengganti sebagian semen yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan kapur dan silica fume terhadap kuat tekan beton serta melakukan perbandingan dengan beton normal. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan tiga variasi campuran, yaitu beton normal, beton dengan substitusi kapur dan silica fume sebesar 5%, serta 10% dari berat semen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan rata-rata sekitar 20,6 MPa. Pada campuran dengan substitusi 5% kuat tekan meningkat menjadi 21,258 MPa (kenaikan ±3,17%), sedangkan pada substitusi 10% mencapai 21,898 MPa (kenaikan ±6,29%). Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi kapur dan silica fume berpotensi meningkatkan kuat tekan beton, meskipun peningkatannya relatif kecil. Oleh sebab itu, diperlukan kajian lanjutan untuk memastikan apakah perbedaan tersebut signifikan secara teknis atau hanya merupakan variasi hasil pengujian. Secara keseluruhan, kapur dan silica fume dapat dipertimbangkan sebagai bahan substitusi parsial semen yang mendukung pengembangan beton ramah lingkungan dengan tetap mempertahankan kinerja teknisnya.

Kata Kunci: kuat tekan, kapur, silica fume, semen, substitusi

1. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia dan menempati urutan kedua setelah air sebagai zat yang paling sering dimanfaatkan oleh manusia. Namun demikian, produksi semen sebagai bahan utama beton menjadi salah satu penyumbang emisi karbon terbesar, yakni sekitar 5–7% dari total emisi CO₂ global menurut World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) [1]. Kondisi ini mendorong perlunya inovasi dalam mengurangi ketergantungan terhadap semen dengan memanfaatkan bahan pengganti yang lebih ramah lingkungan, tanpa mengorbankan kekuatan maupun daya tahan beton itu sendiri. Seiring dengan kemajuan teknologi material, pemanfaatan bahan tambah pozzolan seperti silica fume dan kapur menjadi alternatif yang menarik karena keduanya memiliki potensi untuk meningkatkan performa beton sekaligus menekan dampak negatif terhadap lingkungan [2], [3].

Silica fume, sebagai material pozzolan dengan kandungan silika tinggi, mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam beton dan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memperkuat struktur beton serta mengurangi porositasnya [4]. Sementara itu, kapur yang bersifat lebih inert berfungsi sebagai bahan pengisi (filler) yang dapat memperbaiki struktur mikro beton, meningkatkan ketahanan terhadap retak, serta memberikan perlindungan tambahan terhadap siklus pembekuan dan pencairan. Kombinasi kedua material ini dinilai berpotensi besar dalam meningkatkan kinerja beton secara menyeluruh, sekaligus menurunkan konsumsi semen portland dan emisi karbon yang dihasilkannya [5].

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji dan menganalisis pengaruh penggunaan kombinasi kapur dan silica fume sebagai bahan tambah sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Kajian ini menjadi relevan tidak hanya dari sisi teknis, tetapi juga dari sudut pandang ekonomi dan keberlanjutan. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penggunaan kombinasi kapur dan silica fume secara bersamaan, yang masih jarang diteliti secara mendalam [6]. Selain itu, fokus utama penelitian ini adalah pada pengaruh variasi persentase rendah bahan tambah terhadap kuat tekan beton, sehingga hasilnya dapat diterapkan secara praktis, terutama di Indonesia yang memiliki ketersediaan kapur lokal melimpah dan harga yang terjangkau. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan material beton yang lebih ramah lingkungan, tetapi juga mendukung optimalisasi sumber daya lokal serta efisiensi biaya konstruksi [7].

Landasan Teori Beton

Beton merupakan salah satu bahan material yang umum digunakan dalam dunia konstruksi khususnya pembangunan infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan pembangunan gedung gedung. Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (portland cement), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (admixture atau additivie) [8].

(SNI 2847:2013) menjelaskan bahwa beton merupakan suatu campuran semen portland ataupun semen lainnya, agregat kasar, agregat halus dan air, campuran beton juga dapat ditambahkan oleh bahan tambah (*admixture*). Beton akan mengeras dan membeku setelah mengalami pencampuran dengan air, beton akan semakin mengeras seiring dengan pertambahan umur beton. Beton akan mencapai kekuatan rencana pada umur 28 hari.

Semen Ordinary Portland Cement (OPC)

Semen Ordinary Portland Cement (OPC) adalah jenis semen paling umum dalam industri konstruksi karena kekuatannya yang tinggi dan waktu pengerasan yang cepat. Semen ini terbuat dari batu kapur, tanah liat, dan bahan tambahan lainnya yang dibakar menjadi klinker dan digiling bersama gipsum (SNI 15-2049-2004).

Komposisi kimia utama OPC meliputi CaO (60–67%), SiO₂ (20–25%), Al₂O₃ (3–8%), dan Fe₂O₃ (0,5–6%). OPC memiliki karakteristik berupa waktu pengerasan awal 1–2 jam, kekuatan penuh dalam 28 hari, warna abu-abu atau putih pucat, dan kekuatan tekan hingga 42,5–52,5 MPa tergantung jenisnya. Semen ini banyak digunakan untuk pengecoran beton, plesteran, pembangunan jalan, dan berbagai proyek konstruksi lainnya [10].

Secara fisik, OPC berbentuk bubuk halus dengan kepadatan sekitar 1440 kg/m³ dan kadar air rendah. Kelebihannya adalah kekuatan tinggi, serbaguna, dan mudah digunakan. Namun, kekurangannya meliputi waktu pengerasan cepat dan dampak lingkungan tinggi akibat emisi CO₂ selama proses produksinya [11].

Tabel 1. Komposisi Semen OPC, SNI 15-2049-2004

No	Senyawa	Percentase (%)
1.	Kalsium Oksida (CaO)	60-67%
2.	Silika (SiO ₂)	20-25%
3.	Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8%
4.	Ferro (Fe ₂ O ₃)	0.5-6%
5.	Magnesium Oxide (MgO)	0-5%

sumber : SNI-15-2049 (2004)



Gambar 1. Semen OPC

Sumber: Dokumentasi Bahan penelitian (2025)

Kapur dan Silica Fume

Silica fume adalah bahan sangat halus dengan kandungan SiO_2 lebih dari 85%, berbentuk bulat dan memiliki diameter sekitar 1/100 diameter butir semen. Silica fume berperan penting pada sifat kimia dan mekanik beton [12]. Secara kimia, silica fume mengisi rongga di antara partikel semen sehingga mengurangi total pori, sedangkan secara mekanik, bersifat pozzolan yang bereaksi dengan kalsium yang dilepas semen. Batu kapur (limestone, CaCO_3) adalah batuan sedimen yang tersusun dari mineral kalsit, yang sebagian besar berasal dari organisme laut. Cangkang organisme ini mengendap di dasar laut sebagai pelagic ooze [13].



Gambar 2. Kapur

Sumber: Dokumentasi Bahan penelitian (2025)



Gambar 3. Silica Fume

Sumber: Dokumentasi Bahan penelitian (2025)

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban atau tekanan per satuan luas hingga batas maksimum sebelum terjadi keruntuhan. Nilai kuat tekan beton biasanya dinyatakan dalam satuan MPa (*megapascal*) atau kg/cm^2 , yang diperoleh melalui uji tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder atau kubus. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan benda uji di mesin tekan dan memberikan tekanan secara bertahap hingga benda uji retak atau hancur. Kuat tekan adalah salah satu parameter utama dalam

menentukan kualitas dan kemampuan beton dalam mendukung beban struktural (SNI 1974-2011). Perhitungan kuat tekan beton untuk benda uji silinder ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan,

F'_c = kuat tekan beton (N/mm^2)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang menerima beban



Gambar 4. Kuat Tekan Beton
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

2. Metode Penelitian

Jenis Penelitian

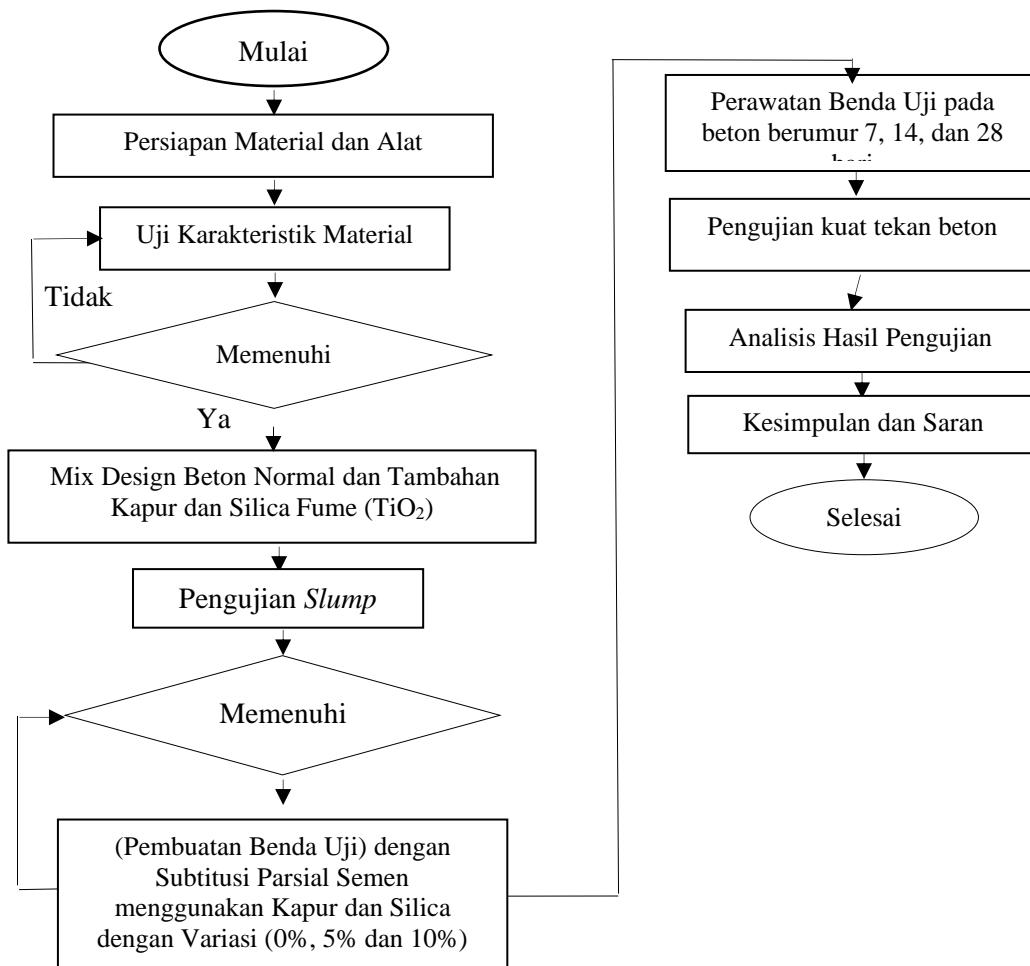
Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu metode yang melibatkan penggunaan angka mulai dari pengumpulan data hingga penyajian hasilnya, yang biasanya disertai gambar, tabel, atau grafik. Data hasil penelitian kemudian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium menggunakan metode eksperimental.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani No. Km. 6, Kel. Bukit Harapan, Kec. Soreang kota parepare. Penelitian ini dilakukan selama 2 (dua) bulan yaitu dimulai pada tanggal 20 Januari 2025 – 15 Maret 2025.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dipakai pada penelitian ini menggunakan analisa parametrik deskriptif. Data hasil uji kuat tekan yang diperoleh dari pembagian antara beban maksimum benda uji dengan luas penampang benda uji, selanjutnya data akan disajikan dalam tabel maupun grafik sehingga kita dapat mengetahui peringkat yang dihasilkan pada umur rencana. Dari analisis ini kita dapat mengetahui karakteristik kualitas benda uji beton normal berdasarkan variasi penambahan (TiO_2) terhadap kuat tekan beton.



Gambar 5. Diagram Alir

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut:

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 2. Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 5%	4,72%
2	Kadar organik	< No. 3	No. 1
3	Kadar air	2% - 5%	2,90%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,75
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,83
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1,15%
6	Berat jenis spesifik		
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,53
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,46
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,49
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,57

Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

Tabel 3. Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,87%
2	Keausan	Maks 50%	27,1%
3	Kadar air	0,5% - 2%	1,58%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,62
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,75
5	Absorpsi	Maks 2%	2,63%
6	Berat jenis spesifik		
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	3,21
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,96
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	3,04
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6,80

Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

Pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**, menunjukkan bahwa agregat pasir sungai dan kerikil memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan untuk digunakan sebagai material campuran beton. Dengan karakteristik tersebut, agregat pasir sungai dan kerikil dapat digunakan dengan optimal dalam pembuatan beton yang berkualitas.

Perencanaan Adukan Campuran Beton (Mix Design)

Pada penelitian ini digunakan variasi beton normal, Titanium Dioksida 1%, Titanium Dioksida 3%. Rancangan campuran beton dihitung berdasarkan SNI 7656:2012, yaitu sebagai berikut:

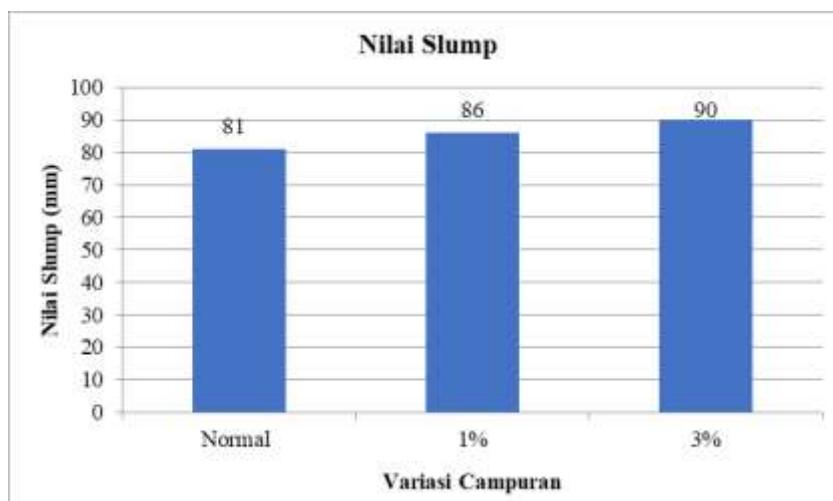
Tabel 4. Mix Design Beton

No	Variasi Campuran (%)	Semen (Kg)	Kerikil (Kg)	Pasir (Kg)	Air (Kg)	TiO ₂ (Kg)
1	Beton Normal	2,10	6,17	4,22	1,18	0
2	5%	2,08	6,17	4,22	1,18	0,03
3	10%	2,04	6,17	4,22	1,18	0,09

Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

Nilai Slump Test

Kerucut Abraham digunakan untuk menilai validitas Slump tes. Kerucut Abraham pertama kali dibasahi sebelum diletakkan di permukaan yang rata. Kerucut kemudian diisi dengan tiga lapis beton baru, yang bagian atasnya diratakan setelah tiap lapis diisi dengan 1/3 volume kerucut abraham dan ditusuk 25 kali, dengan tusukan berlanjut hingga dasar tiap lapis. Kerucut dinaikkan perlahan secara vertikal selama sekitar 30 detik, setelah itu nilai slump dihitung dengan mengukur tinggi campuran dan membandingkannya dengan tinggi kerucut:



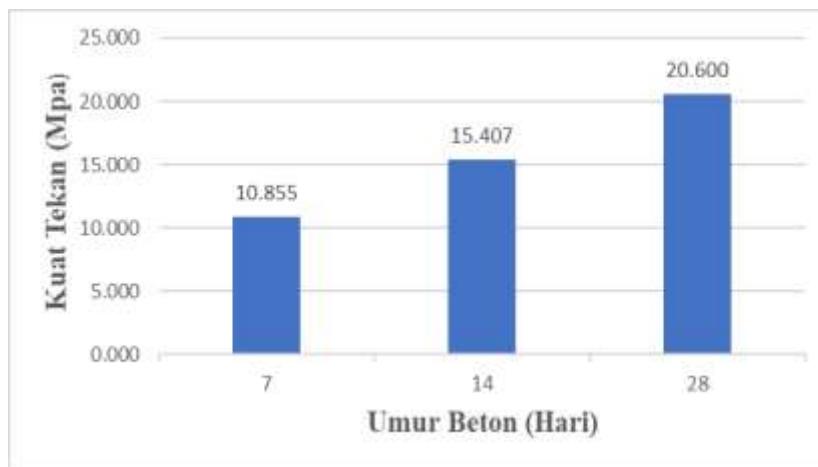
Gambar 6. Perbandingan Nilai Slump pada Setiap Variasi

Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

Pada **Gambar 6**, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada beton normal dengan variasi penambahan 1% Titanium dioksida megalami kenaikan nilai slump test sebesar 6%, sedangkan beton normal dengan variasi penambahan 3% Titanium dioksida megalami nilai slump test sebesar 11%.

Kuat Tekan Beton

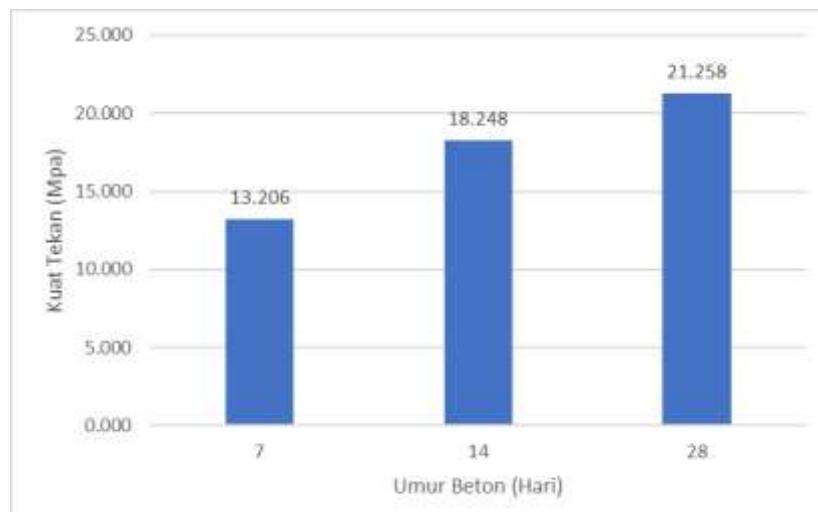
Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kuat tekan pada silinder ukuran 15 x 30 cm, sehingga benda uji yang telah selesai diberikan perawatan selama 7, 14 dan 28 hari kemudian dilakukan pengujian kuat tekan. Pada Gambar 7, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada beton berumur 3 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 42% dari beton berumur 14 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 4,552 Mpa, dan untuk beton yang berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 34% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,193 Mpa.



Gambar 7. Kuat Tekan Beton Normal

Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

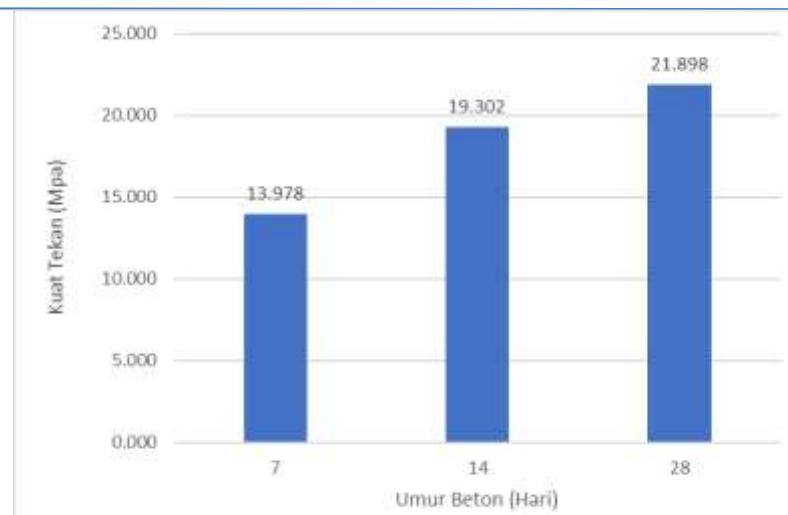
Pada **Gambar 8**, dapat diuraikan penjelasan bahwa beton berumur 7 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 60% dari beton berumur 14 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 4,988 MPa, dan untuk beton yang berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 86% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 3,001 MPa.



Gambar 8. Kuat Tekan Beton Variasi Kapur dan Silica Fume Variasi 5%

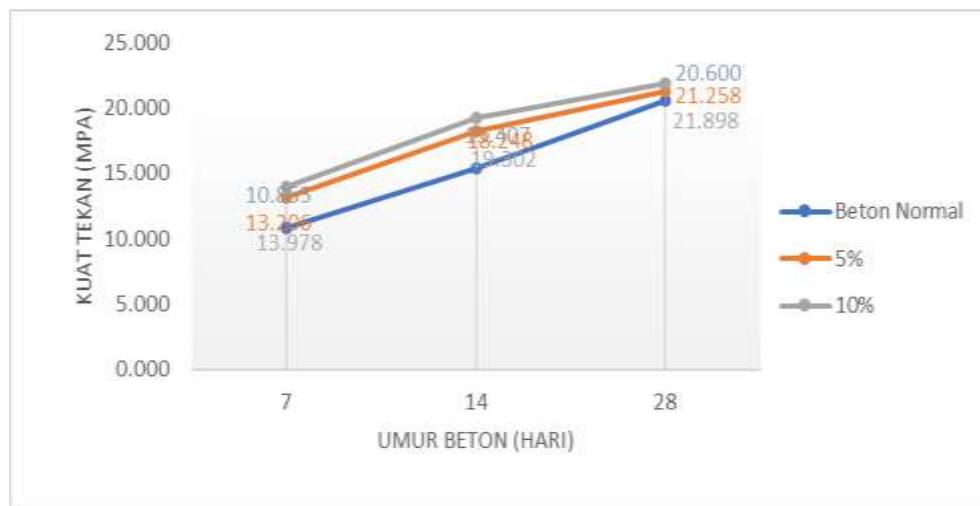
Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

Pada **Gambar 9**, dapat diuraikan penjelasan bahwa beton berumur 7 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 64% dari beton berumur 14 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,324 MPa, dan untuk beton yang berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 88% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 7,596 MPa.



Gambar 9. Kuat Tekan Beton Variasi Kapur dan Silica Fume Variasi 10%
Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

Dari **Gambar 10**, grafik yang ditampilkan, diuraikan penjelasan bahwa pada beton dengan umur 7 hari kuat tekannya mengalami peningkatan dari beton normal sebesar 0,772 MPa pada beton dengan variasi 5% *Silica fume* dan kapur, dan 7,351 MPa pada beton variasi 10% *Silica Fume* dan Kapur. Pada beton yang berumur 14 hari kuat tekan beton mengalami peningkatan dari beton normal sebesar 1,054 MPa pada beton dengan variasi 5% *silica fume* dan kapur dan 2,841 MPa pada beton variasi 10% *Silica fume* dan kapur. Pada beton yang berumur 28 hari kuat tekan beton mengalami peningkatan dari beton normal sebesar 0,640 MPa pada beton dengan variasi 5% *silica fume* dan kapur dan 0,658 MPa pada beton variasi 10% *silica fume* dan kapur. Berdasarkan grafik hubungan variasi persentase terhadap kuat tekan beton, terlihat bahwa kuat tekan beton pada umur 28 hari lebih tinggi dibandingkan pada umur 14 hari. Dengan demikian, beton dengan penambahan 5–10% *silica fume* dan kapur mampu mencapai kuat tekan rencana, sehingga dapat dinyatakan layak untuk digunakan pada pekerjaan konstruksi.



Gambar 10. Grafik Gabungan Kuat Tekan Beton
Sumber: Hasil Olah Laboratorium (2025)

Penurunan kuat tekan beton dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain rasio air-semen (FAS) yang tidak tepat, pemisahan agregat (segregasi), dan bleeding akibat kelebihan air yang melemahkan ikatan pasta semen. Selain itu, umur beton yang masih muda serta perawatan (curing) yang kurang optimal juga dapat menyebabkan kuat tekan tidak tercapai secara maksimal.

5. Kesimpulan

- Penambahan kapur dan silica fume terbukti berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Pada substitusi 5% diperoleh kuat tekan 21,258 MPa (peningkatan 3,17%), sedangkan pada substitusi 10% diperoleh kuat tekan 21,898 MPa (peningkatan 6,29%) dibandingkan dengan beton normal (20,6 MPa). Hal ini

menunjukkan bahwa kombinasi kapur dan silica fume mampu meningkatkan kinerja beton meskipun peningkatannya relatif kecil. Perbandingan kuat tekan beton tanpa silica fume dan kapur, dengan kuat tekan beton dengan campuran silica fume dan kapur memiliki kuat tekan yang lebih tinggi.

2. Penggunaan bahan tambah *silika fume* dan kapur terbukti dapat mempercepat progress capaian kuat tekan karakteristik beton ($f'c$) dengan uraian :
 - a. Pada beton normal, capaian kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 53% dan pada umur 14 hari mencapai 75% terhadap $f'c$ Beton 0%.
 - b. Pada beton dengan bahan tambah 5%, capaian kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 62% dan pada umur 14 hari mencapai 86% terhadap $f'c$ Beton 5%.
 - c. Pada beton dengan bahan tambah 10%, capaian kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 64% dan pada umur 14 hari mencapai 88% terhadap $f'c$ Beton 10%.

5. Referensi

- [1] A. Setiawan, R. Rahmawati, and A. Adnan, "Pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat halus terhadap uji kuat tekan paving block," *Media Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 101–108, 2023.
- [2] H. M. Hamada *et al.*, "Effect of silica fume on the properties of sustainable cement concrete," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 8887–8908, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.05.147.
- [3] M. Olivia, M. A. Maulidi, Fadhlurrahman, and G. Wibisono, "Characteristics of palm oil fuel ash concrete admixed with precipitated silica and silica fume," *Clean Eng Technol*, vol. 19, no. March, p. 100738, 2024, doi: 10.1016/j.clet.2024.100738.
- [4] R. O. Tarru, "Studi Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton," *Journal Dynamic Saint*, vol. 3, no. 1, pp. 472–485, 2018, doi: 10.47178/dynamicsaint.v3i1.271.
- [5] N. Rochmah and G. Sarya, "Pengaruh Serbuk Batu Kapur terhadap Uji Tekan Beton," *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 5, no. 4, p. 13, 2019, doi: 10.26760/rekaracana.v5i4.13.
- [6] Sirait, Esther Glory. *Pengaruh Bahan Tambah Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu 25 Mpa*. Diss. Universitas Komputer Indonesia, 2023.
- [7] Kandi, Yufiter Silas, Ruslan Ramang, and Remigildus Cornelis. "Substitusi Agregat Halus Beton Menggunakan Kapur Alam dan Menggunakan Pasir Laut pada Campuran Beton." *Jurnal Teknik Sipil* 1.4 (2012): 74-86.
- [8] S. Permatasari and S. Kurniawan, "Analisis Kuat Tekan Beton Mutu K-250 Terhadap Pengaruh Penambahan Batu Kapur Dari Desa Cantung Kecamatan Hampang Kabupaten Kotabaru," *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, vol. 11, no. 2, p. 87, 2022, doi: 10.24127/tp.v11i2.2020.
- [9] N. Rochmah, "Pemanfaatan Batu Kapur Didaerah Sampang Madura Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton," *JHP17 Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya*, vol. 01, no. 02, pp. 217–226, 2016.
- [10] S. N. Indonesia, *SNI 2847:2013: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2012.
- [11] Taurano, "Analisis Uji Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Kapur dan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Semen," *ORBITH: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, vol. 17, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [12] N. M. Utami, M. A. Baihaki, and D. Nurtanto, "Korelasi Kuat Tekan Beton Dan Ketahanan Sulfat Pada Beton Normal Dengan Penambahan Kaolin Sebagai Subtitusi Parsial Semen," *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 173–182, 2023, doi: 10.29103/tj.v13i1.807.
- [13] E. Riyanto, E. Widyananto, and R. R. Renaldy, "Analisis Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Silica Fume dan Kapur Tohor," *INERSIA: INformasi dan Eksposre hasil Riset teknik SIpil dan Arsitektur*, vol. 17, no. 1, pp. 19–26, 2021, doi: 10.21831/inersia.v17i1.35901.
- [14] H. Hartono, "Studi Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Kasar Dari Batu Kapur," *Gema Teknologi*, vol. 17, no. 3, pp. 139–143, 2015, doi: 10.14710/gt.v17i3.8931.
- [15] S. N. Indonesia, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.