

Studi Komparatif Kuat Tekan Beton Normal dan Beton dengan Silica Fume dan Natrium Klorida pada Pasir Berkadar Lumpur >5%

Sudhan Aroby^{1*}, Hafiz Hamdani², Nurul Hidayati³

^{1,2,3,4}Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

sudhanaroby25@gmail.com

ABSTRACT

Keywords:

Concrete;
Silt content;
Compressive strength;
Silica fume;
Sodium chloride (NaCl).

Abstract: Concrete is a construction material widely used in buildings, roads, bridges, and dams. According to standards, sand used in concrete mixtures must have a silt content of less than 5%. High silt content reduces concrete quality by weakening the bond between the cement paste and the aggregates. A shortage of high-quality sand has prompted the use of sand with high silt content, supplemented by silica fume and sodium chloride (NaCl). This study aims to analyze the effects of high-silt sand and the addition of silica fume and NaCl on the compressive strength of concrete. An experimental method was employed using cylindrical specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. Mixture variations included normal concrete, concrete with high-silt sand, and combinations of NaCl (1%, 3%, and 5%) with silica fume (5%, 10%, and 15% of cement weight). Compressive strength testing was conducted at 28 days using a Compression Testing Machine (CTM). The results showed that the compressive strength of normal concrete was 20.27 MPa, whereas that of concrete with high-silt sand was 12.53 MPa, representing a 38.18% decrease. The highest compressive strength of 15.12 MPa was achieved with a mixture of 1% NaCl and 5% silica fume, an increase of 20.63% compared to concrete without additives. Overall, 1% NaCl yielded the best results, while silica fume did not demonstrate a consistent effect.

Kata Kunci:

Beton;
Kadar Lumpur;
Kuat Tekan;
Silica Fume;
Natrium Klorida (NaCl).

Abstrak: Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan gedung, jalan, jembatan, dan bendungan. Menurut standar, pasir yang digunakan dalam campuran beton harus memiliki kadar lumpur kurang dari 5%. Kadar lumpur yang tinggi menurunkan mutu beton karena melemahkan ikatan antara pasta semen dan agregat. Keterbatasan pasir berkualitas mendorong pemanfaatan pasir berkadar lumpur tinggi dengan penambahan silica fume dan natrium klorida (NaCl). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pasir berkadar lumpur tinggi serta penambahan silica fume dan NaCl terhadap kuat tekan beton. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Variasi campuran meliputi beton normal, beton dengan pasir berkadar lumpur tinggi, serta kombinasi NaCl 1%, 3%, dan 5% dengan silica fume 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton normal sebesar 20,27 MPa, sedangkan beton dengan pasir berkadar lumpur tinggi sebesar 12,53 MPa atau menurun 38,18%. Kuat tekan tertinggi sebesar 15,12 MPa diperoleh pada campuran NaCl 1% dan silica fume 5%, meningkat 20,63% dibandingkan beton tanpa bahan tambah. Secara keseluruhan, NaCl 1% memberikan hasil terbaik, sedangkan silica fume tidak menunjukkan pengaruh yang konsisten.

Article History:

Received : 01-10-2026

Accepted : 30-11-2026



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

A. LATAR BELAKANG

Beton merupakan salah satu material utama dalam konstruksi, dengan pasir sebagai salah satu bahan penyusunnya. Berdasarkan SNI 03-4142-1996, agregat halus yang digunakan dalam beton harus memiliki kadar lumpur kurang dari 5%. Kandungan lumpur yang melebihi batas tersebut dapat mengganggu ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga menurunkan kuat tekan beton. Penelitian Ridho dkk. (2025) menunjukkan bahwa kuat tekan beton pada umur 28 hari menurun dari 27,6 MPa pada beton normal menjadi 15,4 MPa ketika menggunakan pasir dengan kadar lumpur

>5%. Kondisi tersebut menjadi permasalahan dalam pemanfaatan pasir lokal yang memiliki kadar lumpur tinggi, sehingga diperlukan rekayasa material untuk mempertahankan mutu beton.

Salah satu upaya peningkatan sifat beton adalah penggunaan bahan tambahan seperti *silica fume* dan *natrium klorida (NaCl)*. Penelitian Triasiwi dkk. (2021) menunjukkan bahwa penambahan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan persentase optimum sebesar 15%. Sementara itu, penambahan *NaCl* dalam kadar rendah sekitar 1–4% dapat meningkatkan kuat tekan awal beton, meskipun penggunaan berlebihan berpotensi menurunkan kuat tekan jangka panjang dan meningkatkan risiko korosi tulangan (He dkk., 2023). Namun, penelitian mengenai penggunaan kombinasi *silica fume* dan *NaCl* pada beton yang menggunakan pasir dengan kadar lumpur >5% masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh pasir berkadar lumpur >5% terhadap kuat tekan beton serta mengevaluasi efektivitas penambahan *silica fume* dan *NaCl* dalam meningkatkan kuat tekan beton. Penelitian dilakukan melalui studi komparatif antara beton normal dan beton menggunakan pasir berkadar lumpur >5% dengan variasi *silica fume* sebesar 5%, 10%, dan 15% serta *NaCl* sebesar 1%, 3%, dan 5%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari menggunakan benda uji silinder berukuran 150 × 300 mm. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif pemanfaatan pasir lokal berkadar lumpur tinggi sekaligus menjadi referensi dalam penggunaan bahan tambahan untuk mempertahankan mutu beton.

B. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan bahan tambahan *silica fume* dan *NaCl* terhadap kuat tekan beton yang menggunakan agregat halus dengan kadar lumpur melebihi batas yang dipersyaratkan. Untuk memperoleh hasil penelitian yang optimal, dilakukan serangkaian pengujian di laboratorium terhadap material dan benda uji. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Persiapan Alat dan Bahan

Bahan yang diperlukan yaitu semen portland (PCC) tipe I, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan aditif *silica fume* dan *natrium klorida (NaCl)*. Sementara peralatan yang digunakan antara lain timbangan, saringan agregat, wadah pengaduk, cetakan silinder 15x30 cm, kerucut abrams, Compression Testing Machine (CTM) serta alat pendukung lainnya.

2. Pemeriksaan Material

Langkah awal yaitu pemeriksaan material terhadap kandungan lumpur. Kadar lumpur pada agregat halus yang diizinkan yaitu maksimal 5% berdasarkan SK SNI S – 04 – 1989 – F.

$$h_1 = h_{t2} - h_p \quad (1)$$

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{h_1}{h_{t1}} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan

h_1 = tinggi lapisan lumpur (cm)

h_{t1} = tinggi total pasir dan lumpur sebelum proses pengocokan (cm)

h_{t2} = tinggi total pasir dan lumpur setelah proses pengocokan (cm)

h_p = tinggi lapisan pasir (cm)

Pada agregat kasar, batas maksimum kadar lumpur yang diizinkan yaitu sebesar 1% mengacu pada ASTM C117:2012. Pengujian kadar lumpur pada agregat kasar menggunakan metode pencucian.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan

W_1 = berat agregat sebelum pencucian (gr)

W_2 = berat agregat setelah pencucian (gr)

Pemeriksaan dilakukan tidak hanya terhadap kadar lumpur, tetapi juga mencakup seluruh material yang digunakan sebagai bahan utama penyusun beton. Tahap ini bertujuan memastikan setiap material memenuhi persyaratan teknis dan standar kelayakan sebelum digunakan dalam perencanaan campuran beton (*Job Mix Design*). Pengujian pada agregat halus dan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui karakteristik, kualitas, serta kesesuaiannya sebagai bahan penyusun campuran beton, yang meliputi beberapa pengujian seperti uji berat jenis dan penyerapan, uji gradasi, uji berat volume, uji kadar air dan uji abrasi agregat kasar.

3. Perancangan Campuran dan Pembuatan Benda Uji

Tahap ini dilakukan untuk menentukan proporsi bahan dalam *Job Mix Design* agar beton mencapai kuat tekan yang direncanakan. Campuran dirancang dengan mutu rencana $f'c = 20$ MPa dan menggunakan semen, pasir, kerikil, air, serta bahan tambahan sesuai hasil perancangan. Bahan tambahan yang digunakan adalah *silica fume* dan *NaCl*. Setelah campuran ditentukan, dilakukan pencampuran beton dan pembuatan benda uji silinder.

a. Pencampuran Beton

Pencampuran dilakukan berdasarkan proporsi material hasil *Job Mix Design* untuk memperoleh campuran yang homogen dan sesuai dengan mutu rencana. Proporsi tersebut menjadi acuan dalam menentukan jumlah semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan yang digunakan.

b. Uji Slump

Uji slump dilakukan untuk mengetahui konsistensi dan workability beton segar. Pengujian dilakukan dengan memasukkan beton ke dalam kerucut terpancung, kemudian cetakan diangkat secara vertikal. Selisih tinggi beton sebelum dan sesudah cetakan diangkat merupakan nilai slump, yang menunjukkan tingkat kelecakan campuran.

c. Pencetakan Benda Uji Silinder

Benda uji dibuat menggunakan cetakan silinder berukuran 15×30 cm sesuai prosedur SNI 03-4810. Cetakan dibersihkan, diberi pelumas, dan ditempatkan pada permukaan datar. Beton segar dimasukkan dalam tiga lapisan dengan ketebalan relatif sama, kemudian setiap lapisan dipadatkan sebanyak 25 kali menggunakan batang baja berdiameter 16 mm. Setelah penuh, permukaan beton diratakan dan benda uji diberi kode identitas sesuai jenis campuran dan nomor sampel.

4. Perawatan Benda Uji

Perawatan (curing) dilakukan untuk menjaga proses hidrasi dan mendukung pencapaian kekuatan beton secara optimal (Saputra et al., 2025). Metode yang digunakan adalah water curing, yaitu merendam benda uji dalam bak berisi air bersih hingga mencapai umur pengujian.

5. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari untuk mengetahui kemampuan beton menahan beban aksial. Benda uji terlebih dahulu ditimbang, kemudian diuji menggunakan

Compression Testing Machine hingga mengalami keruntuhan. Beban maksimum yang diperoleh digunakan untuk menghitung kuat tekan beton berdasarkan persamaan berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (4)$$

Dengan

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

A = luas penampang sampel uji (mm²)

P = Beban tekan (N)

6. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan nilai kuat tekan dari setiap variasi campuran untuk mengetahui pengaruh kadar lumpur serta penambahan bahan aditif terhadap kinerja beton. Hasil perbandingan digunakan untuk menentukan variasi campuran yang menghasilkan kuat tekan paling optimal dan menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan penelitian.

C. HASIL & PEMBAHASAN

1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat dilakukan terhadap agregat halus maupun agregat kasar. Pada agregat halus digunakan 2 jenis pasir yaitu pasir normal dengan kadar lumpur kurang dari 5% dan pasir dengan lumpur berlebih. Hasil pemeriksaan agregat adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Agregat

No	Pemeriksaan	Agregat Halus		Agregat Kasar	Sat.
		Pasir Normal	Pasir Berlumpur		
1	Uji kadar lumpur	1,9	13,1	0,31	%
2	Uji berat jenis dan penyerapan				
	a) BJ <i>bulk</i>	2,0	2,3	2,5	-
	b) BJ SSD	2,1	2,3	2,6	-
	c) BJ semu	2,2	2,4	2,6	-
	d) Penyerapan	4,6	2,2	1,6	%
3	Uji gradasi	Zona II	Zona II	Mak. 40 mm	-
4	Modulus kehalusan	2,5	2,4	7,2	%
5	Uji berat isi				
	a) Cara lepas	1,2	1,3	1,5	gr/cm ³
	b) Cara rojokan	1,4	1,5	1,7	gr/cm ³
6	Uji kadar air	12,4	10,0	0,4	%
7	Uji abrasi	-	-	24,9	%

(Sumber : Hasil Data Pengujian, 2026)

Data hasil pengujian digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik material dan menjadi dasar penyusunan *Job Mix Design*. Hasil tersebut selanjutnya digunakan dalam menentukan proporsi campuran beton yang memenuhi standar mutu serta menghasilkan kinerja yang optimal.

2. Hasil Job Mix Design

Job Mix Design (JMD) atau perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2843-2000 tentang perencanaan beton normal. JMD bertujuan untuk mengetahui proporsi setiap material yang diperlukan untuk campuran beton pada setiap variasi. JMD untuk setiap variasi campuran disajikan pada tabel berikut.

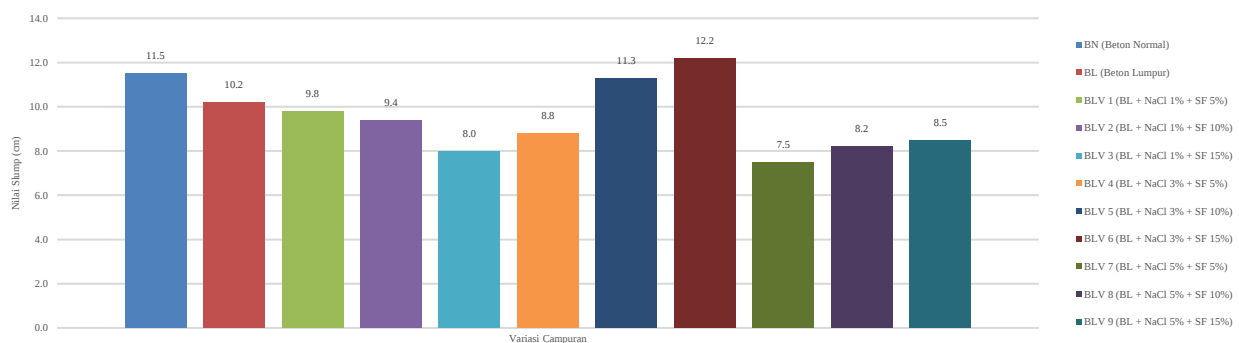
Tabel 2. JMD

Variasi	Semen (kg)	Air (Liter)	Pasir (kg)	Ag.Kasar (kg)	NaCl (kg)	SF (kg)
BN	386,818	212,750	766,323	1198,608	-	-
BL	386,818	212,750	766,323	1198,608		
BLV 1	363,609	212,750	766,323	1198,608	3,868	19,341
BLV 2	344,268	212,750	766,323	1198,608	3,868	38,682
BLV 3	324,927	212,750	766,323	1198,608	3,868	58,023
BLV 4	355,873	212,750	766,323	1198,608	11,605	19,341
BLV 5	336,532	212,750	766,323	1198,608	11,605	38,682
BLV 6	317,191	212,750	766,323	1198,608	11,605	58,023
BLV 7	348,136	212,750	766,323	1198,608	19,341	19,341
BLV 8	328,795	212,750	766,323	1198,608	19,341	38,682
BLV 9	309,455	212,750	766,323	1198,608	19,341	58,023

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2026)

3. Hasil Uji Slump

Uji *slump* mengacu pada SNI 03-1972-1990 yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan dari campuran. Hasil uji *slump* setiap variasi campuran dapat dilihat pada gambar berikut.

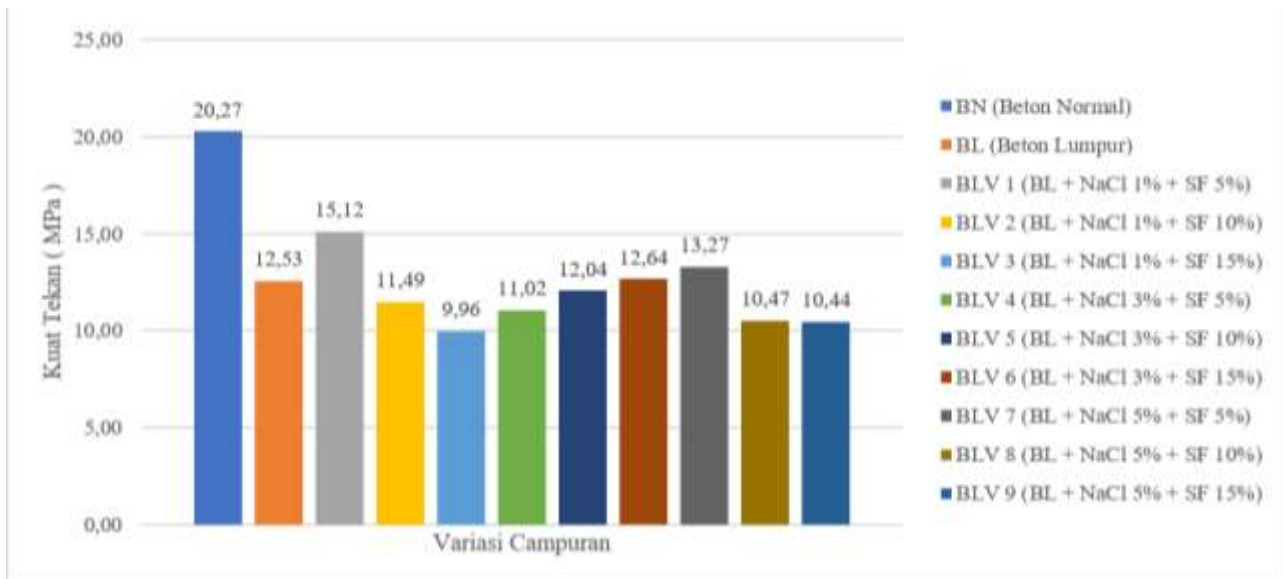


Gambar 1. Hasil Uji Slump

Dari hasil uji *slump* pada Gambar 1. diketahui bahwa nilai *slump* telah memenuhi *slump* rencana pada *Job Mix Design* yaitu 6-18 cm. Berdasarkan hasil pengujian *slump*, beton dengan pasir berlumpur mengalami penurunan nilai *slump* dibanding beton normal karena ikatan campuran menjadi terganggu akibat kandungan lumpur sehingga menjadi lebih sulit dikerjakan. Penambahan *silica fume* pada variasi NaCl 1% juga menyebabkan *slump* semakin turun karena *silica fume* memiliki butiran sangat halus sehingga membutuhkan lebih banyak air. Pada variasi NaCl 3%, nilai *slump* justru meningkat karena campuran menjadi lebih merata dan lebih mudah mengalir. Namun saat kadar NaCl dinaikkan menjadi 5%, nilai *slump* kembali menurun karena campuran beton menjadi lebih cepat mengental sehingga *workability* berkurang. Nilai *slump* yang tidak linear dan terjadi fluktuasi disebabkan karena interaksi yang kompleks antara kadar lumpur yang tinggi, NaCl dan *silica fume*.

4. Hasil Uji Tekan

Uji tekan dilakukan pada umur 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) untuk mendapatkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh setiap benda uji. Setelah beban maksimum diperoleh, selanjutnya menghitung nilai kuat tekan menggunakan Pers. 4.



Gambar 2. Hasil Uji Tekan

Berdasarkan grafik perbandingan hasil uji tekan pada Gambar 2 diketahui nilai kuat tekan beton normal yaitu sebesar 20,27 MPa telah mencapai mutu rencana yaitu 20 MPa. Beton dengan pasir berkadar lumpur tinggi yakni sebesar 13,1% tanpa penambahan *silica fume* dan *NaCl* mengalami penurunan kuat tekan sebesar 38,18% menjadi 12,53 MPa. Hal ini membuktikan bahwa kandungan lumpur yang tinggi pada pasir menyebabkan penurunan kuat tekan yang signifikan karena menyebabkan ikatan antara semen dengan material penyusun beton lainnya menjadi terganggu.

Pada variasi campuran beton menggunakan pasir berkadar lumpur tinggi dengan penambahan *silica fume* dan *NaCl* memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi campuran. Peningkatan kuat tekan hanya terjadi pada penambahan *silica fume* 5% dengan *NaCl* 1% dan 5%. Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan kuat tekan dibandingkan beton lumpur (BL) hanya terjadi pada variasi BLV1 (*NaCl* 1% + SF 5%) sebesar 15,12 MPa dan BLV7 (*NaCl* 5% + SF 5%) sebesar 13,27 MPa. Variasi lainnya menghasilkan kuat tekan yang relatif sama atau bahkan lebih rendah dibandingkan beton lumpur tanpa bahan tambah.

Peningkatan kuat tekan tidak linier terhadap penambahan *NaCl*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar *NaCl* tidak selalu diikuti oleh peningkatan kuat tekan beton. Apabila diperhatikan pada variasi dengan *silica fume* yang sama, nilai kuat tekan menunjukkan pola yang berubah-ubah. Misalnya pada penambahan *silica fume* 5% terlihat bahwa kuat tekan menurun pada *NaCl* 3% kemudian meningkat kembali pada *NaCl* 5%. Pola ini menunjukkan bahwa hubungan antara kadar *NaCl* dan kuat tekan beton tidak bersifat linier. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa pengaruh *NaCl* terhadap beton tidak hanya dipengaruhi oleh persentase yang ditambahkan, tetapi juga oleh interaksinya dengan *silica fume* dan kondisi agregat halus yang mengandung lumpur tinggi.

Peningkatan kuat tekan tidak konsisten menurun linier pada BLV4 sampai BLV6. Terlihat bahwa semakin tinggi kadar *silica fume* justru diikuti oleh peningkatan kuat tekan. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh *silica fume* terhadap beton dengan pasir berkadar lumpur tinggi tidak selalu bersifat negatif. Pada kondisi tertentu, peningkatan kadar *silica fume* masih dapat memperbaiki struktur beton melalui reaksi pozzolan dan efek pengisian rongga sehingga kuat tekan meningkat.

Variasi *NaCl* 1% tidak dapat langsung dinyatakan sebagai kadar optimum berdasarkan tren BLV1 sampai BLV3. Apabila hanya melihat nilai tertinggi yaitu BLV1 sebesar 15,12 MPa, maka *NaCl* 1% memang menghasilkan kuat tekan maksimum. Namun apabila dianalisis lebih lanjut pada kelompok *NaCl* 1% terlihat bahwa peningkatan kadar *silica fume* justru menyebabkan penurunan kuat tekan secara terus-menerus. Sementara itu pada variasi *NaCl* 3% terjadi tren yang berlawanan, yaitu kuat

tekan meningkat seiring bertambahnya *silica fume*. Oleh karena itu, nilai maksimum pada BLV1 tidak cukup untuk menyatakan bahwa seluruh sistem campuran optimum pada *NaCl* 1%, karena respons beton terhadap kombinasi *NaCl* dan *silica fume* tidak menunjukkan pola yang seragam.

Semakin tinggi *silica fume* tidak mutlak menurunkan kuat tekan. Data penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar *silica fume* tidak selalu menyebabkan penurunan kuat tekan. Hal ini dapat dilihat pada variasi BLV4 sampai BLV6. Pada variasi ini, peningkatan kadar *silica fume* justru meningkatkan kuat tekan beton. Dengan demikian, penurunan kuat tekan yang terjadi pada BLV1 sampai BLV3 tidak dapat dijelaskan hanya oleh besarnya kadar *silica fume*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara *silica fume*, *NaCl*, dan kadar lumpur yang menyebabkan perilaku beton menjadi lebih kompleks.

D. SIMPULAN & SARAN

Penggunaan pasir dengan kadar lumpur >5% menyebabkan penurunan kuat tekan beton yang cukup signifikan dibandingkan beton normal. Beton normal menghasilkan kuat tekan sebesar 20,27 MPa, sedangkan beton dengan pasir berkadar lumpur 13,1% hanya mencapai 12,53 MPa. Dengan demikian terjadi penurunan kuat tekan sebesar 38,18%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa kadar lumpur yang tinggi dapat mengganggu ikatan antara semen dan agregat halus serta sehingga kuat tekan beton menjadi lebih rendah.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa pengaruh *silica fume* dan *NaCl* terhadap kuat tekan beton dengan pasir berkadar lumpur tinggi tidak menunjukkan hubungan linier. Variasi dengan kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran *NaCl* 1% dan *silica fume* 5% sebesar 15,12 MPa atau meningkat sebesar 20,63%. Namun demikian, peningkatan kadar *silica fume* maupun *NaCl* tidak selalu menghasilkan peningkatan kuat tekan. Hasil ini menunjukkan bahwa respon beton dipengaruhi oleh interaksi antara kadar lumpur, *silica fume*, dan *NaCl*, sehingga tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan satu variabel saja. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar *NaCl* 1% menghasilkan kuat tekan terbaik dibandingkan kadar *NaCl* lainnya, sedangkan pengaruh *silica fume* tidak menunjukkan pola yang konsisten sehingga tidak dapat ditentukan satu kadar optimum yang berlaku untuk seluruh variasi campuran.

DAFTAR RUJUKAN

- Al-Safi, S., Altharehi, A., Alameri, I. A., & Al-Jolahy, A. (2025). The mechanical properties of cement mortar reinforced with silica fume subjected to sulfate and chloride environment. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 11(1), 55–69. <https://doi.org/10.20528/cjsmec.2025.01.005>
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*.
- Cahyani, K. N., Khusniah, R., & Yoganata, Y. S. (2026). Evaluasi kinerja kuat tekan beton normal menggunakan silica fume pada media perawatan air tawar dan air laut. *Jurnal Impresi Indonesia*, 5(4), 2031–2046. <https://doi.org/10.58344/jii.v5i4.7720>
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur beton bertulang: Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*. Gramedia Pustaka Utama.
- Ghozi, M., Budiati, A., Priambada, A. W., Sabariman, B., & Suryadi, A. (2025). Kuat tekan beton dengan dan tanpa penambahan silica fume dalam rendaman air laut. *INTER TECH*, 3(1), 23–32. <https://doi.org/10.54732/i.v3i1.1246>
- Hapsari, S. P., Wibowo, W., & Safitri, E. (2017). Kajian pengaruh variasi komposisi silica fume terhadap parameter beton memadat mandiri dengan kuat tekan beton mutu tinggi. *Matriks Teknik Sipil*, 5(4). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i4.36924>

- He, W., Li, B., Meng, X., & Shen, Q. (2023). Compound effects of sodium chloride and gypsum on the compressive strength and sulfate resistance of slag-based geopolymer concrete. *Buildings*, 13(3), 675. <https://doi.org/10.3390/buildings13030675>
- Junaidi, A., & Malaiholo, D. (2018). Pengaruh garam (NaCl) dari air laut terhadap perawatan beton. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 5(3). <https://doi.org/10.32502/jbearing.1757201853>
- Kurniawan, M., Ahmadi, H., Syarif, F., Dewi, S. H., Setiawan, P. R., & Kahrywal, K. (2023). Studi eksperimental penambahan zat additif Mastersure 1007 terhadap kuat tekan beton silinder $fc'30$. *Jurnal Teknik*, 17(2), 18–27. <https://doi.org/10.31849/teknik.v17i2>
- Lisanton, A., & Pratama, Y. P. B. (2020). Effect of silica fume on the compressive strength and modulus elasticity of self-compacting high strength concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426, 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012057>
- Luthfiana, H., Wibowo, W., & Safitri, E. (2024). Study of stress-strain relationship of concrete with silica fume added as partial replacement for cement. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 789–798. <https://doi.org/10.26418/jts.v24i1.75323>
- Mahenda, A. I., Rochmah, N., & Widhiarto, H. (2023). Pengaruh penggunaan silica fume sebagai bahan tambah pada beton alir. *Student Scientific Creativity Journal*, 1(4), 117–126. <https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v1i4.1577>
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi beton*. Andi.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology* (2nd ed.). Pearson Education.
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi beton*. Andi.
- Putra, R. H., Irianti, L., Sebayang, S., & Widyawati, R. (2022). Kuat tekan beton mutu tinggi dengan memanfaatkan fly ash dan silica fume sebagai bahan pengisi. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(3), 501–516. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v10i3.2760>
- Ridho, S., Hamdani, H., Fitrayudha, A., & Hariyadi, H. (2025). Studi kuat tekan beton pada agregat halus dengan kadar lumpur berlebih menggunakan penambahan bahan aditif. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 5(4), 10355–10367. <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i4.20999>
- Sai Chand, V. V., Kameswara Rao, B., & Hanumantha Rao, C. (2020). Investigation on chloride penetration in concrete mixes of different cement replacement percentages with fly ash and silica fume. *Materials Today: Proceedings*, 33, 820–827. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.270>
- Saputra, M. R. A., Surya, A., & Perdana, M. G. (2024). Analisis uji mutu beton K-250 dengan mutu beton campuran pengganti agregat kasar dari limbah plastik (PET) berdasarkan SNI 03-2834-2000. *Jurnal Penelitian Teknik*, 1(2).
- Sopa, N. R., Y. M., Nisumanti, S., & Chandra, D. (2023). Pengaruh penambahan silica fume terhadap kuat tekan beton $fc'25$. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v5n1.p1-6>
- Sumranwanich, T., & Kijjanon, A. (2021). Chloride resistance and compressive strength of concrete with silica fume. *Naresuan University Engineering Journal*, 16(1), 107–118. <https://doi.org/10.14456/nuej.2021.11>
- Susanto, D., Djauhari, Z., & Olivia, M. (2019). Karakteristik beton Portland Composite Cement (PCC) dan silica fume untuk aplikasi struktur di daerah laut. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.25077/jrs.15.1.1-11.2019>
- Triasiwi, I., Budiono, A., & Basid, A. (2021). Analisis kuat tekan beton dengan penambahan campuran silica fume untuk mutu beton K-300 dalam penggunaan jalan rigid pavement. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 2(1), 22–29.
- Wicaksono, W. S., Wibowo, W., & Safitri, E. (2018). Pengaruh kadar silica fume terhadap kuat tekan pada high strength self-compacting concrete (HSSCC) benda uji silinder D 7,5 cm × 15 cm usia 14 dan 28 hari. *Matriks Teknik Sipil*, 6(4). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i4.36537>