

Analisis Pengaruh Penggunaan Nano Silika Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Fc' 25 MPa

Agung Laksono*¹, Denie Chandra², Ratih Baniva³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Jl. Jendral Sudirman No.629 Km.4

e-mail: ¹agunglaksono1902@gmail.com, ²denie_chandra@uigm.ac.id, ³ratih.baniva@uigm.ac.id

Abstract

The use of alternative cementitious materials continues to be developed, one of which is the addition of nanomaterials to the concrete mixture. Nanomaterials are nanoscale materials that are being developed into smaller binders than cement grains. Nano silica is a nanoscale material that is very good for manufacturing high performance concrete. The application of nanotechnology is an effective way to reduce environmental pollution and increase the durability of concrete. The purpose of this study was to determine the compressive strength characteristics of concrete using nanosilica as a cement substitution with percentages of 3%, 5% and 8%. Tests were carried out in slump tests, setting time, and compressive strength of concrete with all variations of nano silica. The results show that using nano silica in the concrete mixture can affect the thickness and density of the resulting concrete. The use of higher nano silica can increase the concrete slump value. The results of the concrete setting time test show that the use of nano silica with a higher percentage can slow down the final setting time of the concrete. The compressive strength of substitution variation using 3% nano silica produced the highest compressive strength at 28 days, namely 26.20 MPa, with an increase in concrete compressive strength of 3.4% compared to normal concrete. Using nano silica can reduce the number of pores and make concrete denser, thereby increasing the strength and durability of concrete, however using more nano silica causes clumping to occur, thereby reducing the bonding power between other concrete constituent materials..

Keywords: cementitious, nanomaterials, nano silica, slump tests, compressive strength

Abstrak

Penggunaan alternatif material berbasis semen terus dikembangkan salah satunya penambahan nanomaterial pada campuran beton. Nanomaterial merupakan material skala nano yang tengah berkembang menjadi binder yang berukuran lebih kecil dari butiran semen. Nanosilika merupakan jenis material berskala nano yang sangat baik digunakan dalam pembuatan high performance concrete. Penerapan nanoteknologi merupakan cara yang efektif cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan durabilitas beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik kuat tekan beton yang menggunakan nanosilika sebagai substitusi semen dengan persentase 3%, 5% dan 8%. Pengujian dilakukan berupa uji slump, setting time serta kuat tekan beton dengan semua variasi penggunaan nano silika. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan nano silika pada campuran beton dapat mempengaruhi tingkat kekentalan dan kepadatan beton yang dihasilkan. Penggunaan nano silika yang lebih tinggi dapat meningkatkan nilai slump beton. Hasil uji setting time beton menunjukkan bahwa penggunaan nano silika dengan persentase yang lebih tinggi dapat memperlambat waktu ikat akhir beton. Kuat tekan beton variasi substitusi yang menggunakan nano silika 3% menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur beton 28 hari yaitu sebesar 26,20 MPa dengan peningkatan kuat tekan beton sebesar 3.4% dari beton normal.

Penggunaan nano silika dapat mengurangi jumlah pori dan membuat beton lebih padat sehingga meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton, akan tetapi dengan penggunaan nano silika yang lebih banyak menyebabkan terjadinya penggumpalan sehingga mengurangi daya ikat antar material penyusun beton lainnya.

Kata kunci: *nanomaterial, nanosilika, slump, setting time, kuat tekan*

1. Pendahuluan

Penggunaan beton sebagai bahan pembentuk struktur telah banyak digunakan didunia konstruksi. Beton sering diaplikasikan pada pembuatan konstruksi gedung, jembatan, jalan dan bangunan air (Sopa, 2023). Material beton banyak diminati karena memiliki kekuatan tekan tinggi, tahan dalam waktu yang lebih lama, serta biaya pemeliharaan yang tidak terlalu tinggi dibandingkan material lainnya.

Salah satu material penyusun beton pada umumnya terdiri bahan pengisi berupa pasir dan batu pecah, serta semen dan air sebagai binder (Fauzi, 2022). Penggunaan bahan baru dan material alternatif berbahan semen sebagai upaya material berkelanjutan terus dikembangkan salah satunya penambahan material nano pada campuran beton (Devi, 2022). Nanomaterial merupakan bahan berskala nano dengan ukuran partikelnya berkisar kurang dari 100 nm (Prihatini, 2016). Material nano saat ini tengah menjadi inovasi untuk menjadi bahan pengikat yang berukuran lebih kecil dari bahan semen (Setiati, 2016).

Nano silika (SiO_2) adalah jenis material berbahan silika yang berskala nanometer. Secara umum, nanosilika diproduksi dari silika berukuran mikro. Penambahan butiran nano seperti nano silika, nano alumina, nano clay, hingga cementitious material mengubah kualitas beton. Nanomaterial yang digunakan sebagai substitusi parsial semen dalam pembuatan beton dapat mengubah karakteristik beton seperti proses hidrasi yang dipercepat, porositas lebih kecil dan meningkatkan kepadatan mikrostruktur serta kuat tekan beton (Gumelar, 2019). Penggunaan nano silika 10% dapat meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan sulfat lebih baik dibandingkan beton konvensional (Saloma, 2015). Penambahan nano silika 0–10% sejumlah kecil efektif meningkatkan kuat tekan beton hingga 75% (Huseien, 2019). Penggunaan nanosilika 4% menghasilkan kuat tekan sebesar 35,04 MPa, sedangkan beton tanpa menggunakan nanosilika 23,98 MPa. Persentase kenaikan kuat tekan beton yang menggunakan silika berukuran nano adalah sebesar 46,16%.

Nano silika adalah bubuk kuarsa atau bubuk silika yang ditandai dengan persentase kandungan SiO_2 yang tinggi yaitu lebih dari 99%. Nano silika merupakan bahan kimia anorganik ultra halus berbentuk bubuk putih yang tidak berbau. Nano silika komersil adalah silika berukuran nano yang telah diperdagangkan secara komersil. Nano silika mempunyai ukuran partikel antara 20–40 nm. Nanosilika adalah campuran pembuatan beton mampu memperkuat kepadatan beton dan permeabilitas beton (Gumelar, 2019). Nano silika adalah material dengan jumlah yang banyak diproses dengan teknologi nano. Penggunaan nanosilika sebagai substitusi material semen pada pembangunan bidang konstruksi dapat meningkatkan kuat tekan dan dapat mengurangi efek akibat gempa serta memiliki kekedapan yang lebih baik (William, 2023).

Green concrete terus dikembangkan untuk bahan pembangunan berkelanjutan dengan cara penerapan limbah industri untuk mengurangi polusi terhadap lingkungan (Puspita, 2020). Beton nanomaterial adalah beton generasi baru yang terbentuk dari material dengan ukuran butir berskala nano. Nanosilika yang ditambahkan pada campuran pembuatan beton meningkatkan kepadatan

beton. Tujuan penelitian untuk menganalisis kuat tekan, tingkat porositas dan permeabilitas beton yang menggunakan nanosilika. Nanosilika sebagai substitusi semen sebesar 4%, 6% dan 8%. Hasil pengujian kekuatan tekan beton konvensional adalah sebesar 23,98 MPa pada 28 hari. Optimum penggunaan nano silika 4% menghasilkan 35 MPa. Jika dibandingkan dengan dua variasi nano silika lainnya, persentase 4% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi (Gumelar, 2019).

Perkembangan inovasi beton pada dunia konstruksi mengalami peningkatan yang cukup pesat. Teknologi material konstruksi terus diupayakan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dan lebih durable dibandingkan beton konvensional, salah satunya adalah dengan penggunaan material berskala nano. Penelitian bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik dan daya tahan beton yang menggunakan material nano. Material pembentuk beton antara lain adalah agregat, semen, nanosilika, superplasticizer, dan air. Berdasarkan hasil diperoleh bahwa optimum penggunaan nanosilika 5% dari berat binder dapat mengurangi kebutuhan pemakaian semen sebanyak 30 kg. Persentase dengan hasil kuat tekan optimum adalah dengan penambahan nanosilika, meningkatkan kuat tekan sebesar 16,70%. Oleh karena itu beton dengan penambahan nano silika sebanyak 3% memiliki kepadatan yang lebih baik dibandingkan kepadatan beton normal (Setiati, 2016).

Penelitian beton yang menggunakan nanomaterial dilakukan untuk mengetahui durabilitas beton (Saloma, 2015). Material yang digunakan adalah semen tipe 1, nanosilika berukuran 10 - 150 nm, serbuk kuarsa dalam 0,3 - 25,0 μm , pasir halus (kuarsa pasir) ukuran 50 - 650 μm , agregat kasar 5 - 10 mm, dan superplasticizer. Dalam penelitian ini, mekanisme yang dibahas penggabungan nanomaterial dalam beton meningkatkan daya tahan terhadap serangan sulfat. Penerapan nanoteknologi merupakan cara yang efektif cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan daya tahan beton. Bagi negara-negara seperti Indonesia, teknologi ini dapat berperan sebagai peran penting dalam memenuhi kebutuhan infrastruktur yang sangat besar secara berkelanjutan. Berdasarkan hasil pengujian Nanosilika mampu meningkatkan kinerja beton dan menghasilkan kuat tekan sebesar 129,48 MPa. Peningkatan ketahanan nano silika sebagai substitusi semen sebesar 10% terhadap serangan sulfat lebih baik dibandingkan beton tanpa nano silika.

Penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan nano silika (NS) dan fly ash (FA) pada beton berkinerja tinggi. Penambahan Nano silika (NS) ditambahkan dalam empat persentase yaitu 1%, 2%, 3%, 4% dari berat semen. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa Nano silika berfungsi sebagai bahan pengisi yang dapat membantu mengisi pori-pori dan mempercepat proses hidrasi. Selain itu karena efek pengisian pori-pori dari Nano silika yang membuat material beton menjadi lebih padat. Penggunaan material nano seperti Nano SiO_2 dapat menghasilkan karakteristik beton yang jauh lebih baik dari beton konvensional dengan komposisi campuran yang sama. Nano silika sebagai pengganti Semen Portland biasa hingga 3% dapat mempercepat pembentukan hidrasi dan meningkatkan ketahanan terhadap permeabilitas air pada beton. Hasil kuat tekan benda uji beton 28 hari dengan penambahan 4% nanosilika menghasilkan kuat tekan sebesar 75,5 MPa (Vivek, 2020). Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penggunaan nanosilika sebagai substitusi semen dengan persentase 3%, 5% dan 8% terhadap uji slump dan setting time beton serta pengaruh terhadap kuat tekan beton dengan mutu beton rencana $F_c' 25$ MPa.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan berupa metode eksperimental. Material yang digunakan adalah bubuk silika murni SiO_2 99,9% berukuran 7-40 nm seperti yang terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Nano silika

Pengumpulan data dalam penelitian ini akan menggunakan dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder.

Berikut batasan penelitian terkait analisis adalah sebagai berikut:

1. Varisi penggunaan nanosilika sebagai substitusi semen sebanyak 3%, 5% dan 8%.
2. Mutu beton rencana adalah f_c' 25 MPa.
3. Agregat halus berupa pasir yang digunakan berasal dari Tanjung raja.
4. Agregat kasar adalah batu pecah (split) berasal dari Bojonegoro.
5. Semen yang digunakan adalah PCC tipe 1.
6. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari.

Tahap awal pembuatan beton adalah mempersiapkan alat dan bahan. Alat berupa timbangan, saringan, sieve shaker, piknometer, gelas ukur, oven, mixer, kerucut abrams, cetakan beton 10 cm x 20 cm, mesin uji kuat tekan, Vicat apparatus, bak perendaman. Sedangkan material yang dibutuhkan adalah berupa semen, agregat halus, agregat kasar, nano silika, dan air dipersiapkan sesuai dengan jumlah komposisi yang telah direncanakan sesuai mutu beton rencana.

Pengujian karakteristik agregat yang akan digunakan dilakukan sesuai standar SNI. Berikut pengujian karakteristik agregat meliputi pengujian Analisa Saringan (SNI 03-1968-1990), pengujian Berat Jenis dan Penyerapan (SNI 03-1970-1990), pengujian Kadar Lumpur (SNI 03-4428-1997), pengujian Kadar Air (SNI 03-1971-1990).

Setelah semua bahan selesai dipersiapkan dan agregat halus dan kasar telah memenuhi semua standar pengujian agregat, dilakukan proses pencampuran material penyusun beton. Kemudian memasukkan material penyusun sedikit demi sedikit agar memastikan semua bahan tercampur merata dan benar-benar homogen. Selanjutnya setelah semua bahan tercampur rata, pengujian beton segar dilakukan berupa uji slump dan setting time beton sesuai standar SNI. Setelah beton dicetak dan mencapai waktu 24 jam, dilakukan pembukaan cetakan silinder dan melakukan curing dengan cara merendam beton dalam air untuk menjaga hidrasi beton untuk melakukan uji kuat tekan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai standar SNI 1974 : 2011.

Kuat tekan beton akan meningkat seiring bertambahnya umur beton hingga mencapai kekuatan 100% pada 28 hari. Perhitungan kuat tekan beton pada rumus berikut ini (SNI 031974-2011).

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

Keterangan:

F_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang beda uji (mm^2)

Berikut komposisi campuran beton untuk kebutuhan m^3 .

Tabel 1. Komposisi Campuran beton 1 m^3

Bahan	Berat/ m^3
Semen	445,45 kg
Agregat Halus	535,71 kg
Agregat Kasar	1249,61 kg
Air	194,23 ltr

Tabel 2. Komposisi Campuran beton 1 silinder

Jenis Bahan	Semen kg	Agregat Halus kg	Agregat Kasar kg	Air ltr	Nanosilika kg
Beton Normal	0,909	1,093	2,549	0,396	-
BNS-3%	0,882	1,093	2,549	0,396	0,027
BNS-5%	0,864	1,093	2,549	0,396	0,045
BNS-8%	0,836	1,093	2,549	0,396	0,073

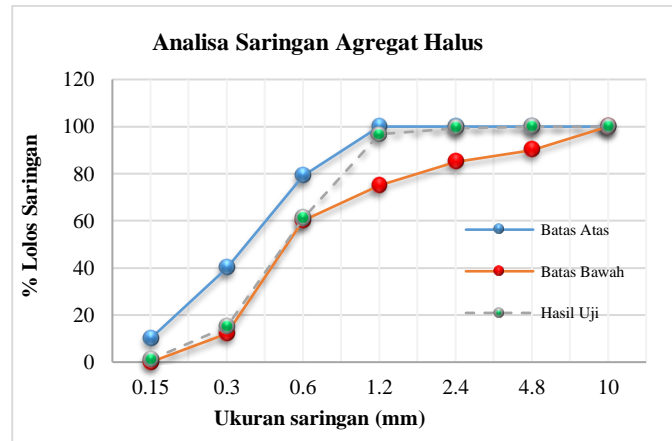
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus sebelum digunakan didalam campuran beton harus dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk menguji kelayakan material yang akan digunakan. Uji karakteristik agregat halus terdiri dari pengujian analisa saringan, pengujian kadar lumpur, pengujian kadar air, pengujian berat jenis dan penyerapan air. Hasil test dapat dilihat pada Tabel 3 dan kurva analisa saringan pada Gambar 2.

Tabel 3. Hasil uji karakteristik agregat halus

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Modulus kehalusan (FM)	2,27	1,5–3,8	Memenuhi
2	Kadar lumpur (%)	2,42	Maks 5%	Memenuhi
3	Kadar air (%)	1,07	Maks 4%	Memenuhi
4	<i>Bulk specific gravity</i> (kondisi SSD)	2,54	1,6-3,3	Memenuhi
5	Persentase absorpsi air (%)	1,90	Maks 4%	Memenuhi



Gambar 2. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus

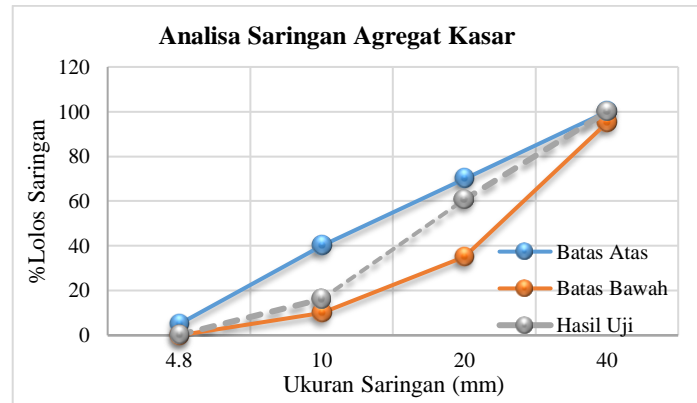
Hasil saringan gradasi pasir menghasilkan persentase lolos kumulatif saringan 4,75 mm sebanyak 99,855%, saringan 2,36 mm sebanyak 99,343%, saringan 1,18 mm sebanyak 96,746%, saringan 0,60 mm sebanyak 61,088%, saringan 0,30 mm sebanyak 15,119%, saringan 0,15 mm sebanyak 1,023% dan saringan pan sebanyak 0%. Hasil pengujian saringan pasir yang digunakan berada dalam kurva gradasi No.3 berdasarkan SNI 03-2834-2000 merupakan jenis agregat halus katagori cukup halus. Modulus kehalusan agregat halus yang menurun, dapat meningkatkan rasio rongga halus agregat meningkat sehingga terdapat banyak pori dan dapat menurunkan kepadatan serta kekuatan beton (Sun, 2023).

Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar berupa batu pecah agar mengetahui karakteristik material agregat kasar. Uji tersebut berupa pengujian analisa saringan, pengujian kadar lumpur, pengujian kadar air, pengujian berat jenis dan penyerapan air. Hasil test dapat dilihat pada Tabel 4 dan Grafik analisa saringan agregat kasar pada Gambar 3.

Tabel 4. Hasil uji karakteristik agregat kasar

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Modulus kehalusan (FM)	6,00	5,5–8,5	Memenuhi
2	Kadar lumpur (%)	0,21	Maks 1%	Memenuhi
3	Kadar air (%)	1,11	Maks 4%	Memenuhi
4	<i>Bulk spesific gravity</i> (kondisi SSD)	2,78	2,55-2,83	Memenuhi
5	Persentase absorpsi air (%)	0,57	Maks 3%	Memenuhi

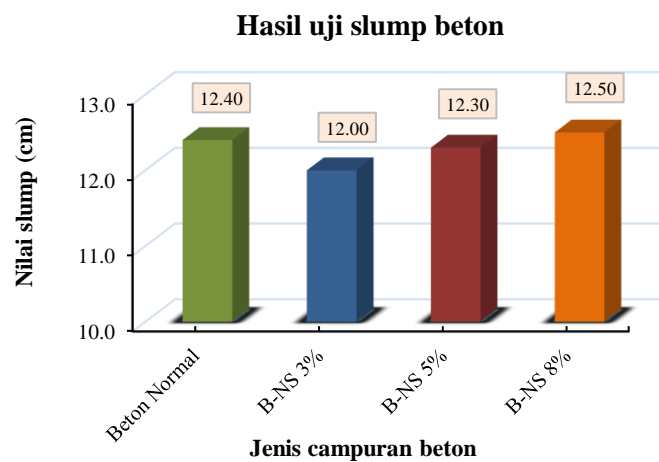


Gambar 3. Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar

Hasil distribusi saringan agregat kasar berada dalam kurva gradasi dengan persentase lolos kumulatif saringan 38,10 mm sebanyak 99,94%, saringan 25,00 mm sebanyak 99,85%, saringan 19 mm sebanyak 60,66%, saringan 12,5 mm sebanyak 23,38%, saringan 9,5 mm sebanyak 16,21%, saringan 4,75 mm sebanyak 0,21% dan saringan 2,36 mm sebanyak 0,14%, dan saringan 1,18 mm sebanyak 0,06%. Hasil pengujian agregat kasar yang digunakan masuk diantara batas atas dan batas bawah ukuran butir maksimum agregat 40 mm. Agregat kasar dengan ukuran butir yang lebih kecil memiliki kehalusan permukaan kurang baik (Enda, 2021).

Hasil Slump Test

Uji slump dilakukan pada campuran beton normal, beton nano silika 3%, beton nano silika 5%, dan beton nano silika 8%. Berdasarkan uji yang dilakukan nilai slump beton normal memiliki nilai slump sebesar 12,4 cm, beton variasi substitusi dengan nano silika 3% slump 12 cm, beton variasi substitusi dengan nano silika 5% memiliki nilai slump 12,3 cm, beton variasi substitusi dengan nano silika 8% memiliki nilai slump 12,5 cm. Berikut merupakan hasil uji slump beton dengan beberapa jenis campuran beton terdapat pada Gambar 4.

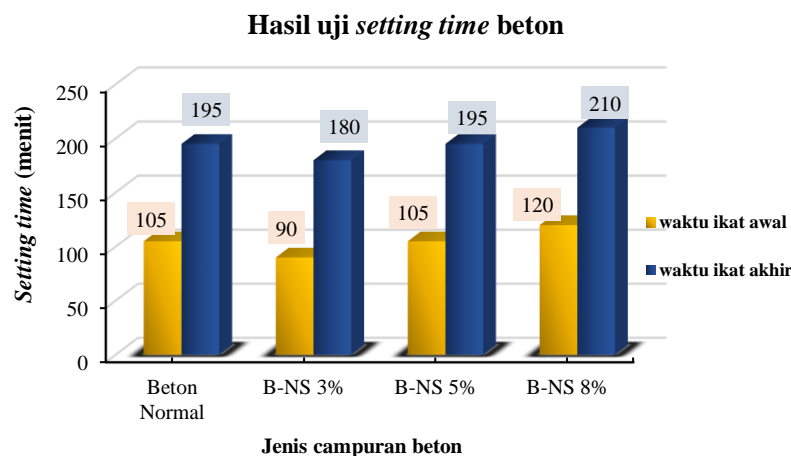


Gambar 4. Hasil uji slump beton terhadap variasi jenis campuran beton

Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan nano silika pada campuran beton dapat mempengaruhi tingkat kekentalan beton yang dihasilkan. Semakin tinggi tingkat kekentalan beton segar maka semakin sulit untuk pengerjaannya (nilai *workability* rendah) akan tetapi dapat menghasilkan kuat tekan yang tinggi dikarenakan padatnya beton yang dihasilkan. Penggunaan nanosilika dapat meningkatkan kekentalan beton segar (AITawaiha, 2023). Hasil uji slump persentase penggunaan nano silika 3%, 5% dan 8% masuk dalam nilai slump yang sesuai rencana. Dalam perencanaan campuran beton sesuai SNI, untuk nilai slump beton Fc 25 MPa adalah 12 ± 2 . Hal ini menunjukkan bahwa semua campuran baik beton normal, BN-S 3%, BN-S 5% dan BN-S 8% memenuhi persyaratan nilai slump rencana dan dapat dilakukan pencetakan benda uji.

Hasil Pengujian *Setting time*

Pengujian *setting time* dilakukan pada campuran beton normal, beton nano silika 3%, beton nano silika 5%, dan beton nano silika 8%. Pengujian *setting time* dilakukan dengan mencatat nilai waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Hasil pengujian waktu ikat dengan beberapa jenis campuran beton ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil uji *setting time* terhadap variasi jenis campuran beton

Berdasarkan hasil uji *setting time*, beton normal memiliki nilai waktu ikat awal 105 menit dan waktu ikat akhir sebesar 195 menit, beton variasi substitusi dengan nano silika 3% memiliki nilai waktu ikat awal sebesar 90 menit dan waktu ikat akhir sebesar 180 menit, beton variasi substitusi dengan nano silika 5% memiliki nilai waktu ikat awal 105 menit dan waktu ikat akhir sebesar 195 menit, beton variasi substitusi dengan nano silika 8% memiliki nilai waktu ikat awal 120 menit dan waktu ikat akhir sebesar 210 menit. Penggunaan nano silika dengan persentase yang lebih tinggi dapat semakin memperlambat waktu ikat akhir beton segar. Waktu ikat akhir beton yang lebih lama dapat disebabkan kandungan nanosilika yang lebih banyak dibandingkan semen sehingga dapat menyebabkan aglomerasi partikel dan dapat mengurangi daya lekat antar bahan penyusun beton sehingga memperlama waktu ikat beton. Hidrasi trikalsium silikat (C_3S) dapat dipercepat dengan penambahan partikel silika berskala nano atau kalsium silikat hidrat ($C-S-H$). Percepatan hidrasi diharapkan dapat mempengaruhi sifat fisik semen dan meningkatkan kekuatan tekan beton (Rouhan, et.al. 2019).

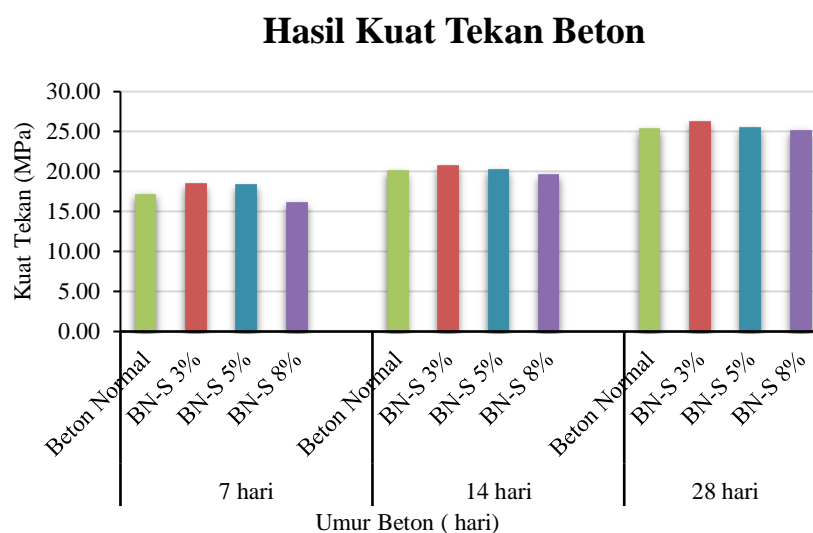
Hasil pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton untuk semua umur beton dengan campuran beton normal dan beton variasi nanosilika 3%, 5% dan 8%. Hasil rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton untuk semua jenis variasi campuran ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 6.

Tabel 5. Hasil kuat tekan beton

Jenis Beton	Umur beton (hari)	Beban rata-rata (P) (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
Beton Normal	7	134,7	7850	17,15
	14	157,3	7850	20,04
	28	199	7850	25,35
BNS-3%	7	144,7	7850	18,43
	14	162,7	7850	20,72
	28	205,7	7850	26,20
BNS-5%	7	143,7	7850	18,3
	14	158,7	7850	20,21
	28	200	7850	25,48
BNS-8%	7	126,3	7850	16,09
	14	154	7850	19,62
	28	197,3	7850	25,14

Berdasarkan rekapitulasi hasil uji kekuatan tekan terhadap beton normal yang menggunakan nano silika dan dengan tanpa menggunakan substitusi nanosilika pada semua umur benda uji meningkat. Hal ini dikarenakan kuat tekan 100% dicapai pada umur 28 hari. Kuat tekan beton yang menggunakan nano silika sebagai substitusi semen sebesar 3% menghasilkan kuat tekan tertinggi atau paling optimum yaitu sebesar 26,20 MPa pada umur beton 28 hari. Berikut merupakan hasil rekapitulasi kuat tekan beton terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil uji Kuat Tekan Beton

Pada variasi penggunaan nanosilika sebesar 5% dan 8% terjadi sedikit penurunan kuat tekan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan nano silika yang lebih banyak dapat menurunkan kuat tekan beton dikarenakan nano silika dalam jumlah yang banyak dapat mengurangi daya lekat terhadap material penyusun beton lainnya. Pada semua umur beton variasi optimum untuk penggunaan nanosilika sebesar 3% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan kedua variasi nano silika 5% dan 8%. Penambahan nano silika dapat mengurangi jumlah pori dan membuat beton lebih padat sehingga meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton akan tetapi dengan penggunaan nano silika yang lebih banyak menyebabkan terjadinya penggumpalan sehingga mengurangi daya ikat antar material penyusun beton lainnya. Penggunaan nano silika hingga 3–4% dapat meningkatkan daya tahan dan karakteristik mekanis beton karena pengaruh pengisian, penyempurnaan struktur pori, dan perilaku pozzolan nano-silika. Kekuatan tekan beton meningkat seiring dengan peningkatan nano silika, dan dapat menurun jika nano silika yang digunakan dari 4% (Althoey, 2023).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian slump beton menunjukkan bahwa penggunaan nano silika pada campuran beton dapat mempengaruhi tingkat kekentalan dan kepadatan beton yang dihasilkan. Penggunaan nano silika yang lebih tinggi dapat meningkatkan nilai slump beton. Hasil uji slump persentase penggunaan nano silika 3%, 5% dan 8% masuk dalam nilai slump yang sesuai rencana. Hasil uji setting time beton menunjukkan bahwa penggunaan nano silika dengan persentase yang lebih tinggi dapat memperlambat waktu ikat akhir beton. Waktu ikat awal beton yang paling cepat adalah pada variasi persentase nano silika 3% yaitu sebesar 90 menit dan waktu ikat akhir sebesar 180 menit.

Kuat tekan beton yang menggunakan nano silika dan beton tanpa nano silika pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari mengalami penambahan kuat tekan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton variasi substitusi dengan nano silika 3% menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 26,20 MPa, dan dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 3,4%. Pada variasi penggunaan nano silika sebesar 5% dan 8% terjadi sedikit penurunan kuat tekan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan nano silika dengan jumlah yang lebih tinggi dapat membuat kuat tekan beton lebih rendah dikarenakan dalam jumlah yang banyak dapat mengurangi daya lekat terhadap material penyusun beton lainnya sehingga mempengaruhi kekuatan beton. Pada semua umur beton yang diuji, campuran optimum adalah pada variasi penggunaan nanosilika sebesar 3% dengan menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi. Penambahan nano silika dapat mengurangi jumlah pori dan membuat beton lebih padat sehingga meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton akan tetapi dengan penggunaan nano silika yang lebih banyak menyebabkan terjadinya penggumpalan sehingga mengurangi daya ikat antar material penyusun beton lainnya.

Daftar Pustaka

- AlTawaiha, H., Alhomaidat, F., & Eljufout, T. (2023). A Review of the Effect of Nano-Silica on the Mechanical and Durability Properties of Cementitious Composites. *Infrastructures*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/infrastructures8090132>.
- Althoey, F., Zaid, O., Martínez-García, R., Alsharari, F., Ahmed, M., & Arbili, M. M. (2023). Impact of Nano-silica on the hydration, strength, durability, and microstructural properties of concrete: A state-of-the-art review. *Case Studies in Construction Materials*, 18(March), e01997. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01997>.

- Devi, D. S., Baniva, R., & TT, M. N. (2022). Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Geopolymer Foam Concrete Dengan Variasi Rasio Foaming Agent Dan Air. *Bearing : Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, 7(4), 215. <https://doi.org/10.32502/jbearing.v7i4.5498>.
- Enda D, Pribadi JA, F. O. (2021). Pengaruh Pengurangan Persentase Volume Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Dengan Penambahan Zat Aditif. *Seminar Nasional Industri Dan Teknologi, Lcm*, 56–57.
- Fauzi, M., Puspita, N., & Julio, R. R. (2022). Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Pada Beton Ringan. *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 11(2), 45–50. <https://doi.org/10.36982/jtg.v11i2.2802>.
- Gumelar, B., & Wardhono, A. (2019). Pengaruh Variasi Penambahan Nanosilika Komersial Pada Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1–8.
- Huseien, G. F., Shah, K. W., & Sam, A. R. M. (2019). Sustainability of nanomaterials based self-healing concrete: An all-inclusive insight. *Journal of Building Engineering*, 23, 155–171. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.032>
- Norhasri, M. S. M., Hamidah, M. S., & Fadzil, A. M. (2017). Applications of using nano material in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 133, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.005>.
- Prihatini, E., & Putra, R. R. (2021). Pengaruh Penggunaan Nanomaterial Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Cived*, 8(3), 175. <https://doi.org/10.24036/cived.v8i3.114400>.
- Puspita, N., Hani'A, A. I., & Fauzi, M. (2020). The effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) on Portland cement type II to compressive strength of high quality concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(2), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/2/022068>.
- Rouhani, A., Azimi, N., Akbari, M., Ahmadpour, A., & Ashrafpour, E. (2019). Effect of adding nano size silica on setting time and porosity of mineral trioxide aggregate. *Iranian Endodontic Journal*, 14(3), 197–201. <https://doi.org/10.22037/iej.v14i3.23010>.
- Saloma, Nasution, A., Imran, I., & Abdullah, M. (2015). Improvement of concrete durability by nanomaterials. *Procedia Engineering*, 125, 608–612. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.078>.
- Setiati, R. N. (2016). Pengaruh Penambahan Nano Material Terhadap Sifat Mekanik Dan Durabilitas Beton. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 33(2), 92–101.
- Singh, L. P., Ali, D., Tyagi, I., Sharma, U., Singh, R., Hou, P. (2019). Durability studies of nanoengineered fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, 194, 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.022>.
- SNI 03-2834-2000. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.
- SNI 2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- SNI 03-4428-1997. Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir.
- SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar.

SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus.

SNI 03-1971-1990. Metode Pengujian Kadar Air Agregat.

SNI 03-1972-1990. Metode Pengujian *Slump* Beton.

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> .

Sun, Z., Xiong, J., Cao, S., Zhu, J., Jia, X., Hu, Z., & Liu, K. (2023). Effect of Different Fine Aggregate Characteristics on Fracture Toughness and Microstructure of Sand Concrete. Materials, 16(5). <https://doi.org/10.3390/ma16052080>.

Vivek, D., Elango, K. S., Saravanakumar, R., Rafek, B. M., Ragavendra, P., Kaviarasan, S., & Raguram, E. (2020). Effect of nano-silica in high performance concrete. Materials Today: Proceedings, 37(Part 2), 1226–1229. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.431>.