

PEMANFAATAN PASIR SILIKA DARI SISA PENAMBANGAN BUKIT KAPUR INDARUNG SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS UNTUK PERKERASAN JALAN KAKU (*RIGID PAVEMENT*)

Muhammad Rayhan¹

Universitas Bung Hatta

itmerayhann0@gmail.com

Indra Farni²

Universitas Bung Hatta

indrafarni@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Bung Hatta untuk mengetahui pengaruh substitusi pasir silika terhadap kuat tekan beton dengan mutu rencana 30 MPa. Variasi substitusi pasir silika yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% dari berat agregat halus dengan pengujian pada umur beton 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi pasir silika berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton. Pada umur 28 hari, nilai kuat tekan beton normal (0%) mencapai 30,67 MPa, substitusi 10% sebesar 33,12 MPa, substitusi 20% sebesar 36,23 MPa, dan substitusi 30% sebesar 32,55 MPa. Peningkatan kuat tekan tertinggi diperoleh pada substitusi pasir silika 20% dengan rata-rata kuat tekan optimum sebesar 35,95 MPa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pasir silika sebagai pengganti sebagian agregat halus mampu meningkatkan mutu beton, khususnya pada variasi substitusi 20% yang memberikan hasil paling optimal.

Kata Kunci: Beton, Pasir Silika, Substitusi Agregat Halus, Kuat Tekan, Mutu Beton

ABSTRACT

This research was conducted at the Materials Technology Laboratory, Bung Hatta University, to investigate the effect of silica sand substitution on the compressive strength of concrete with a design strength of 30 MPa. The substitution of silica sand was applied at 0%, 10%, 20%, and 30% of the fine aggregate weight, with compressive strength testing carried out at 7, 14, and 28 days. The results showed that silica sand substitution significantly affected the increase in concrete compressive strength. At the age of 28 days, the compressive strength of normal concrete (0%) reached 30.67 MPa, while 10% substitution achieved 33.12 MPa, 20% substitution achieved 36.23 MPa, and 30% substitution achieved 32.55 MPa. The highest increase in compressive strength was obtained at 20% substitution, with an optimum average compressive strength of 35.95 MPa. Therefore, it can be concluded that silica sand substitution as a partial replacement of fine aggregate improves the quality of concrete, particularly at the 20% variation, which provides the most optimal result.

Keywords: Concrete, Silica Sand, Fine Aggregate Substitution, Compressive Strength, Concrete Quality

PENDAHULUAN

Jalan memiliki peranan yang sangat penting dalam menunjang pembangunan nasional, karena berfungsi sebagai sarana transportasi yang mendukung pertumbuhan ekonomi, distribusi barang, serta mobilitas masyarakat. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan perkerasan kaku berbahan beton semakin sering diterapkan pada proyek infrastruktur jalan. Namun, struktur beton memiliki sifat yang rentan terhadap retak karena karakteristik dasarnya yang getas. Beton memang sangat kuat menahan gaya tekan, tetapi lemah terhadap gaya tarik sehingga sering kali hancur atau patah tanpa mengalami perubahan bentuk ketika tegangan maksimum telah tercapai (Area, 2022).

Seiring dengan gencarnya pembangunan infrastruktur di Indonesia, beton menjadi material utama dalam konstruksi, baik pada gedung, jembatan, maupun jalan raya. Kebutuhan mutu beton pada setiap bangunan berbeda-beda, tergantung pada fungsi dan beban struktur yang direncanakan. Misalnya, pembangunan gedung tinggi membutuhkan mutu beton yang berbeda dengan bangunan sederhana, begitu pula dengan konstruksi jembatan dan jalan. Hal ini menunjukkan pentingnya pemilihan mutu beton yang sesuai dengan kebutuhan struktur (Hamdi et al., 2022).

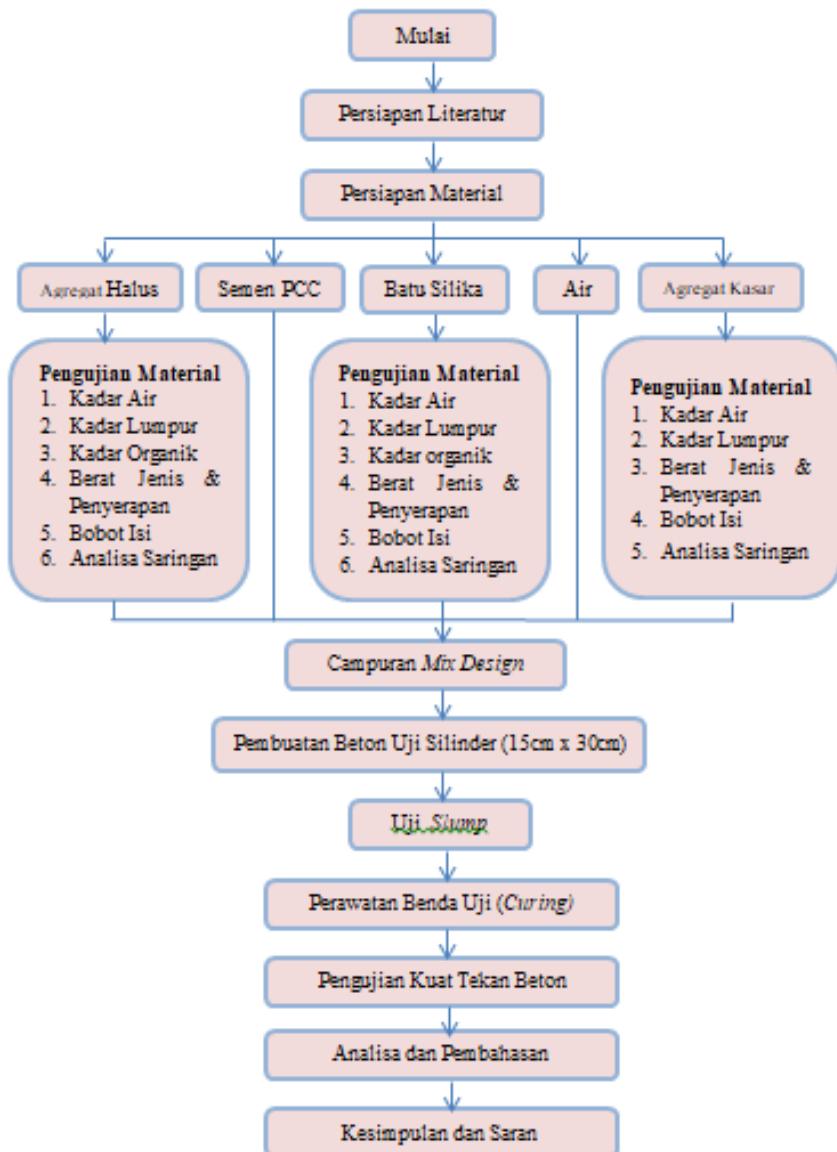
Mutu beton berpengaruh langsung terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Berdasarkan SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton didefinisikan sebagai besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton retak apabila dikenai gaya tekan tertentu menggunakan Compression Machine. Pengujian biasanya dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sesuai dengan prosedur ASTM C39-86. Nilai kuat tekan beton umumnya ditentukan pada umur 28 hari, dengan faktor-faktor yang memengaruhi antara lain sifat dan proporsi campuran, kualitas bahan baku, teknik pengecoran, metode perawatan, serta penggunaan bahan aditif kimia (Hadi, 2020).

Komponen utama beton terdiri dari semen portland, air, agregat halus, dan agregat kasar yang dicampur dengan perbandingan tertentu. Seiring meningkatnya kebutuhan infrastruktur berbasis beton, berbagai inovasi material beton terus dikembangkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih baik dibanding beton normal. Salah satu inovasi yang menarik perhatian adalah penggunaan pasir silika sebagai bahan campuran beton. Silika (SiO_2) merupakan senyawa kimia yang dapat berasal dari mineral, sintesis kristal, maupun nabati. Pasir silika telah banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti keramik, kaca, dan pembersih logam. Dalam konteks beton, diharapkan penggunaannya mampu meningkatkan kekuatan, khususnya kuat tekan (Septiani et al., 2024).

Meskipun penelitian mengenai potensi pasir silika sebagai material alternatif beton telah banyak dilakukan di berbagai wilayah, hingga saat ini belum ditemukan kajian lokal yang secara khusus mengevaluasi karakteristik teknis pasir silika dari kawasan Indarung sebagai pengganti agregat halus pada struktur perkerasan kaku (*Rigid Pavement*). Padahal, wilayah Indarung memiliki kondisi geologis yang kaya akan material silika, sehingga berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan material lokal yang efisien dan berkelanjutan. Kekosongan penelitian ini menjadi celah ilmiah yang penting untuk dijembatani, guna mengetahui sejauh mana pasir silika dari Indarung dapat memenuhi standar kualitas dan kinerja beton untuk kebutuhan perkerasan jalan yang membutuhkan kekuatan struktural tinggi dan daya tahan jangka panjang.

METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan-tahapan dalam penelitian ini yang dimulai dari persiapan bahan hingga analisa data, kesimpulan dan saran hingga selesai.



Gambar 1. Bagan Alir (Flowchart) Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di Laboratorium Teknologi Bahan dan Material, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Bung Hatta. Tahapan penelitian terdiri dari pengujian pendahuluan dan pengujian lanjutan.

1. Pengujian Material

Dilakukan untuk menentukan sifat dasar material penyusun beton, meliputi:

- o Agregat halus (pasir sungai), agregat kasar (*split*), dan pasir silika.

- Pengujian karakteristik agregat sesuai SNI, meliputi: analisa saringan, kadar lumpur, kadar air, kadar organik, berat jenis & penyerapan, serta bobot isi.
 - Data hasil uji digunakan sebagai dasar perencanaan campuran beton (*mix design*).
2. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)
- Mengacu pada SNI 7656-2012 dengan target kuat tekan 30 MPa.
 - Substitusi pasir silika terhadap agregat halus sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%.
 - Benda uji berbentuk silinder $\text{Ø}15 \times 30 \text{ cm}$, masing-masing diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari (total 36 sampel).
3. Pembuatan dan Pengujian Beton
- Beton segar: dilakukan pengujian nilai *slump*, berat isi, dan waktu pengikatan.
 - Perawatan (*curing*): metode rendam air (*water curing*) selama 7, 14, dan 28 hari.
 - Kuat tekan beton: diuji menggunakan *Compression Machine* sesuai SNI 03-2493-2011. Nilai kuat tekan dihitung dengan rumus:

$$f c' = \frac{P}{A}$$

$f c'$ = Kuat tekan (MPa)

P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang (mm²)

4. Jenis Data

- Data primer: hasil pengujian material dan kuat tekan beton dengan variasi substitusi pasir silika.
- Data sekunder: acuan *mix design* dan standar pengujian (SNI).

5. Analisis Data

Hasil uji kuat tekan beton pada setiap variasi substitusi pasir silika dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap mutu beton pada umur 7, 14, dan 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Material

Hasil pengujian agregat halus, agregat kasar, dan pasir silika menunjukkan seluruh material memenuhi standar SNI. Pasir sungai dan pasir silika termasuk kategori pasir sedang (zona II), dengan kadar lumpur < 5% dan kadar organik negatif. Agregat kasar memiliki ukuran maksimum 20 mm, berat jenis 2,60–2,70, serta penyerapan < 3%, sehingga layak digunakan sebagai bahan campuran beton. Berikut rekapitulasi hasil pengujian agregat:

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
1.	Kadar Lumpur	1,08%	Maks 5%	Memenuhi SNI 1971:2011
2.	Kadar Air	7,44%	Maks 7,5%	Memenuhi SNI 1971-2011
3.	Kadar Organik	Larutan NaOH 3% berwarna kuning jernih	Kuning muda hingga hitam pekat	Memenuhi SNI 2816-2014
4.	BJ SSD	2,53%	2,4 – 2,9	Memenuhi SNI 1970-2016
5.	Penyerapan	1,82%	< 5%	Memenuhi SNI 1970-2016
6.	Bobot Isi	1403,19 gr/lt	0,3 – 1,8	Memenuhi SNI 1970-2016

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar

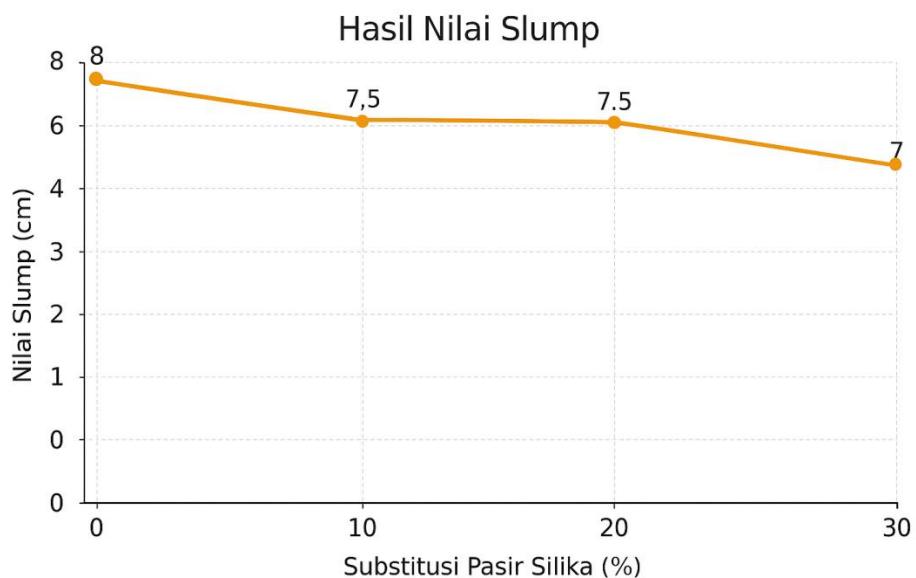
No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
1.	Kadar Lumpur	0,16%	Maks 1%	Memenuhi SNI 1971:2011
2.	Kadar Air	1,44%	2%	Memenuhi SNI 1971-2011
3.	BJ SSD	2,62%	2,4 – 2,9	Memenuhi SNI 1970-2016
4.	Penyerapan	1,90%	< 3%	Memenuhi SNI 1970-2016
5.	Bobot Isi	1388,24 gr/lt	0,3 – 1,9	Memenuhi SNI 1970-2016

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Silika

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
1.	Kadar Lumpur	0,20%	Maks 5%	Memenuhi SNI 1971:2011
2.	Kadar Air	0,6%	Maks 7,5%	Memenuhi SNI 1971-2011-
3.	Kadar Organik	Larutan NaOH 3% berwarna kuning pekat	Kuning muda hingga hitam pekat	Memenuhi SNI 2816-2014
4.	BJ SSD	2,5%	2,4 – 2,9	Memenuhi SNI 1970-2016
5.	Penyerapan	2,8%	< 5%	Memenuhi SNI 1970-2016
6	Bobot Isi	1484,64 gr/lt	0,3 – 1,8	Memenuhi SNI 1970-2016

2. Uji *Slump* Beton Segar

Nilai *slump* untuk variasi substitusi pasir silika berada pada rentang 7–7,5 cm, sesuai dengan target *slump* (3–8 cm). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan pasir silika tidak menurunkan kelecahan (*workability*) beton secara signifikan, bahkan sedikit meningkatkan kemudahan penggerjaan akibat bentuk butir halus dan daya serap air yang relatif kecil.

**Gambar 2. Hasil Pengujian *Slump***

3. Kuat Tekan Beton

Berikut ini hasil pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji dengan umur rencana pengujian 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan penggunaan pasir silika sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Substitusi Pasir Silika 10%

Kode Benda Uji	Tanggal		Umur Rencana	Koef. Estimasi	P	Kuat Tekan (fc)	Kuat Tekan rata-rata	Kuat Tekan Estimasi 28 Hari	Kuat Tekan rata-rata	Pencapaian Koef.	Rata-rata Pencapaian	
	Pembuatan	Pengujian				%	KN	Mpa	Mpa	%	%	
PS 10%(1)	26/05/2025	02/06/2025	7	0,65	380	21,5145	21,57	33,0992	33,19	0,05	0,0489	
PS 10%(2)	26/05/2025	02/06/2025						33,3606				
PS 10%(3)	26/05/2025	02/06/2025						33,0992				
PS 10%(1)	26/05/2025	09/06/2025	14	0,88	515	29,1578	29,16	33,1339	33,13	0,07	0,0660	
PS 10%(2)	26/05/2025	09/06/2025		0,88	520	29,4409		33,4556				
PS 10%(3)	26/05/2025	09/06/2025						32,8122				
PS 10%(1)	26/05/2025	23/06/2025	28	1	585	33,1210	33,03	33,1210	33,03	0,08	0,0748	
PS 10%(2)	26/05/2025	23/06/2025						32,8379				
PS 10%(3)	26/05/2025	23/06/2025						33,1210				

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Substitusi Pasir Silika 20%

Kode Benda Uji	Tanggal		Umur Rencana	Koef. Estimasi	P	Kuat Tekan (fc)	Kuat Tekan rata-rata	Kuat Tekan Estimasi 28 Hari	Kuat Tekan rata-rata	Pencapaian Koef.	Rata-rata Pencapaian
	Pembuatan	Pengujian				Hari	%	KN	Mpa	Mpa	%
PS 20% (1)	02/06/2025	09/06/2025	7	0,65	405	22,9299	22,93	35,2768	35,28	0,05	0,0519
PS 20% (2)	02/06/2025	09/06/2025						34,8413			
PS 20% (3)	02/06/2025	09/06/2025						35,7123			
PS 20% (1)	02/06/2025	16/06/2025	14	0,88	550	31,1394	31,23	35,3857	35,49	0,07	0,0707
PS 20% (2)	02/06/2025	16/06/2025						35,7074			
PS 20% (3)	02/06/2025	16/06/2025						35,3857			
PS 20% (1)	02/06/2025	30/06/2025	28	1	630	35,6688	35,95	35,6688	35,95	0,08	0,0814
PS 20% (2)	02/06/2025	30/06/2025						36,2350			
PS 20% (3)	02/06/2025	30/06/2025						35,9519			

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Substitusi Pasir Silika 30%

Kode Benda Uji	Tanggal		Umur Rencana	Koef. Estimasi	P	Kuat Tekan (fc)	Kuat Tekan rata-rata	Kuat Tekan Estimasi 28 Hari	Kuat Tekan rata-rata	Pencapaian Koef.	Rata-rata Pencapaian
	Pembuatan	Pengujian	Hari	%	KN	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	%	%
PS 30% (1)	03/06/2025	10/06/2025	7	0,65	360	20,3822	20,67	31,3572	31,79	0,05	0,0468
PS 30% (2)	03/06/2025	10/06/2025	7	0,65	360	20,3822		31,3572		0,05	
PS 30% (3)	03/06/2025	10/06/2025	7	0,65	375	21,2314		32,6637		0,05	
PS 30% (1)	03/06/2025	17/06/2025	14	0,88	485	27,4593	27,55	31,2038	31,31	0,06	0,0624
PS 30% (2)	03/06/2025	17/06/2025	14	0,88	490	27,7424		31,5254		0,06	
PS 30% (3)	03/06/2025	17/06/2025	14	0,88	485	27,4593		31,2038		0,06	
PS 30% (1)	03/06/2025	01/07/2025	28	1	560	31,7056	31,89	31,7056	31,89	0,07	0,0722
PS 30% (2)	03/06/2025	01/07/2025	28	1	575	32,5548		32,5548		0,07	
PS 30% (3)	03/06/2025	01/07/2025	28	1	555	31,4225		31,4225		0,07	

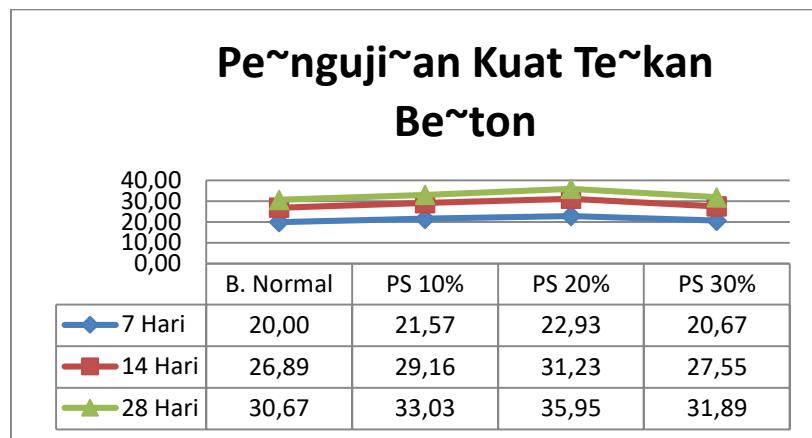
Hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton normal (0% pasir silika) memiliki kuat tekan rata-rata 30,67 MPa, sesuai dengan mutu rencana 30 MPa. Variasi substitusi pasir silika memberikan pengaruh berbeda terhadap kuat tekan:

- 10% substitusi menghasilkan kuat tekan rata-rata 33,12 MPa, mengalami peningkatan sekitar 8% dibanding beton normal.
- 20% substitusi menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu 36,23 MPa, meningkat sekitar 18% dibanding beton normal.
- 30% substitusi menghasilkan kuat tekan rata-rata 32,55 MPa, sedikit lebih tinggi dari beton normal tetapi menurun dibandingkan variasi 10% dan 20%.

Peningkatan kuat tekan hingga variasi 20% disebabkan oleh butiran pasir silika yang lebih halus, sehingga mampu mengisi rongga antar butir agregat dan memperbaiki densitas beton. Namun, pada substitusi 30%, kelebihan butiran halus menyebabkan kebutuhan air meningkat, yang berdampak pada penurunan kuat tekan.

4. Analisis Umum

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi pasir silika pada campuran beton mutu 30 MPa memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tekan, dengan hasil optimum pada substitusi 20%. Pada variasi ini, beton mencapai kuat tekan rata-rata 36,23 MPa pada umur 28 hari, melampaui mutu rencana. Dengan demikian, pasir silika dapat dipertimbangkan sebagai material alternatif pengganti sebagian agregat halus dalam pembuatan beton struktural.



Gambar 2. Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada campuran pasir silika sebagai pengganti agregat halus dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30%, diperoleh hasil bahwa kuat tekan beton normal pada umur 28 hari memiliki rata-rata sebesar 30,67 MPa. Dengan adanya substitusi pasir silika sebesar 10% dari berat agregat halus, diperoleh nilai kuat tekan sebesar 33,12 MPa, sedangkan pada substitusi 20% diperoleh nilai kuat tekan tertinggi yaitu 36,23 MPa. Namun, pada variasi substitusi 30% terjadi penurunan nilai kuat tekan menjadi 31,89 MPa.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.18 di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton tertinggi pada penggunaan pasir silika sebagai pengganti agregat halus terdapat pada variasi substitusi 20% dengan nilai kuat tekan sebesar 36,23 MPa. Dari hasil penelitian ini, penurunan kuat tekan pada substitusi pasir silika sebesar 30% menjadi 31,89 MPa pada umur 28 hari dapat disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

- **Absorpsi**
Absorpsi yang tinggi menyebabkan sebagian air dalam campuran diserap oleh pasir silika, sehingga mengurangi jumlah air efektif yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen. Akibatnya, pembentukan pasta semen menjadi kurang optimal dan ikatan antar partikel beton tidak terbentuk sempurna. Hal ini berdampak pada berkurangnya kepadatan beton dan menurunnya kekuatan tekan yang dihasilkan (Ekawati, 2025).
- **Efek Pemadatan dan Kerja (*Compaction & Consolidation*) yang Buruk**
Beton dengan kandungan material halus yang tinggi cenderung memiliki sifat kohesif dan viskositas yang lebih besar, sehingga proses pemadatan menggunakan metode getar standar menjadi kurang efektif. Kondisi tersebut dapat menyebabkan terbentuknya rongga atau area yang tidak terpadatkan secara sempurna, yang pada akhirnya menurunkan nilai kuat tekan beton (Suryadi A, 2024).
- **Kepadatan dan Susunan Butiran (*Packing Density*) Menurun**
Substitusi pasir silika sebesar 20% memberikan susunan butir yang lebih padat sehingga porositas berkurang dan kuat tekan meningkat. Akan tetapi, pada variasi 30%, kelebihan partikel halus mengganggu kepadatan susunan agregat dan

mengurangi ikatan dengan pasta semen, sehingga variasi yang terlalu banyak menyebabkan penurunan kuat tekan beton (Sarjana et al., 2025).

Hasil di atas menunjukkan bahwa pasir silika sangat berpotensi untuk digunakan dalam *rigid pavement*, karena dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 30 MPa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Bung Hatta mengenai pengaruh substitusi pasir silika sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton mutu 30 MPa dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% yang diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari, diperoleh bahwa penggunaan pasir silika berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tekan beton. Pada umur 28 hari, beton normal tanpa substitusi (0%) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 30,67 MPa. Dengan adanya substitusi pasir silika sebesar 10% dari berat agregat halus, kuat tekan meningkat menjadi 33,12 MPa. Substitusi 20% memberikan hasil tertinggi, yaitu sebesar 36,23 MPa, yang berarti terjadi peningkatan signifikan dibandingkan beton normal serta menunjukkan bahwa beton mampu melampaui mutu rencana awal sebesar 30 MPa. Namun, pada substitusi pasir silika sebesar 30%, nilai kuat tekan menurun menjadi 32,55 MPa, meskipun masih lebih tinggi dibandingkan beton normal. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa substitusi optimum terdapat pada variasi 20% dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 35,95 MPa, sehingga dapat dinyatakan bahwa pasir silika dari sisa penambangan kapur berpotensi meningkatkan kekuatan beton secara efektif apabila digunakan dalam kadar yang tepat, khususnya pada variasi 20%, sedangkan penggunaan yang berlebihan justru dapat menurunkan kualitas beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Imam, Z., & Rita, A., 2023. Pemanfaatan Batu Silika dari Sisa Penambangan Kapur Indarung Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton.
- [2] SNI 7656 : 2012. (2012). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal SNI 7656-2012. *Badan Standardisasi Nasional*, 1-34.
- [3] Suhelmidawati, E., Gusri, Y., Mirani, Z., Fahmiza, Y., & Ikhsan, M. 2022. Penggunaan Pasir dan Kerikil Silika dari sisa Penambangan Batu Kapur sebagai Substitusi Agregat untuk Perkerasan Jalan Kaku.