

# Uji Eksperimental Mortar Kapur Padam dengan Bahan Tambah *Silica Fume* Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Mortar

Ramadhan Desmawan Putra\*, Slamet Widodo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

Kata Kunci:  
Mortar kapur  
Pemugaran  
Kuat tarik belah  
Kuat tekan  
*Silica fume*

Keywords:  
Limestone mortar  
Restoration  
Split tensile strength  
Compressive strength  
*Silica fume*

## ABSTRAK

Salah satu cara untuk menyelamatkan bangunan cagar budaya yang mengalami kerusakan adalah dengan cara pemugaran. Pemugaran pada bangunan cagar budaya dapat menggunakan metode restorasi dan perkuatan menggunakan mortar dengan bahan yang sama namun sedikit dimodifikasi untuk meningkatkan kekuatannya tanpa menghilangkan nilai keasliannya. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan *silica fume* pada mortar kapur padam terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah pada mortar. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental di laboratorium. Variasi mortar terbagi kedalam 4 jenis yaitu V1, V2, V3, V4 dengan penambahan *silica fume* secara berurutan sebesar 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat kapur tohor yang digunakan. Tahapan membuat benda uji mengacu pada SNI 2493-2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Benda uji terdiri dari 2 bentuk yaitu silinder dan kubus masing-masing berjumlah 48 buah. Pengujian dalam penelitian ini meliputi uji kuat tarik belah dan uji kuat tekan dengan mesin UTM (*Universal Testing Machine*). Pengujian dilakukan pada umur 14, 21 dan 28 hari. Metode yang digunakan pada proses analisis data berupa metode deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah pada komposisi campuran V1, V2, V3 dan V4 pada umur 28 hari secara berurutan sebesar 0,42, 0,45, 0,63, 0,75 MPa. Nilai kuat tekannya pada komposisi campuran V1, V2, V3 dan V4 pada umur 28 hari secara berurutan sebesar 4,33, 3,70, 3,76, dan 4,99 MPa. Diantara keempat variasi campuran mortar yang ada mortar dengan persentase penambahan *silica fume* sebesar 25% memiliki nilai kuat tekan dan kuat tarik belah paling optimum.

## ABSTRACT

One of the ways to save damaged cultural heritage buildings is through restoration. Restoration of cultural heritage buildings can involve restoration and reinforcement using mortar with identical materials but slightly modified to increase its strength without losing its authenticity. This research aims to identify the effect of *silica fume* addition to limestone mortar on the compressive strength and split tensile strength of mortar. The method used in this research is a laboratory experiment. The mortar variations are divided into 4 types which are V1, V2, V3, V4 with the addition of *silica fume* sequentially by 10%, 15%, 20% and 25% of the weight of limestone used. The stages of creating specimens are referred to SNI 2493-2011 on the procedures for the manufacture and treatment of concrete specimens in the laboratory. The test objects consisted of 2 different forms, namely cylinders and cubes, each of which consisted of 48 pieces. The tests in this study include split tensile strength test and compressive strength test with UTM (*Universal Testing Machine*). Tests were performed at the age of 14, 21 and 28 days. The method used in the data analysis process is the descriptive quantitative method. The results showed that the split tensile strength value of the mixture composition V1, V2, V3 and V4 at the age of 28 days sequentially amounted to 0.42, 0.45, 0.63, 0.75 MPa. The compressive strength values in mix compositions V1, V2, V3 and V4 at the age of 28 days were 4.33, 3.70, 3.76, and 4.99 MPa, sequentially. Among the four variations of mortar mixtures, mortar with a percentage of *silica fume* addition of 25% has the most optimum compressive strength and split tensile strength values.



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

\*Corresponding author.

E-mail: ramadhandesmawan.2019@student.uny.ac.id

Available online 31 Maret 2024

## 1. Pendahuluan

Bangunan Gedung Cagar Budaya (BGCB) ialah salah satu dari sekian banyak kekayaan budaya di Indonesia yang keberadaannya penting untuk pemahaman dan pengembangan sejarah, kebudayaan, dan ilmu pengetahuan. Seperti yang tercantum pada Undang-Undang no 11 tahun 2010 tentang cagar budaya, bahwa bangunan cagar budaya memiliki arti penting dalam penguatan karakteristik budaya bangsa Indonesia. Bangunan Gedung Cagar Budaya seiring berjalannya waktu mulai mengalami kerusakan baik itu rusak karena termakan usia ataupun rusak karena terkena bencana alam. Salah satu bentuk kerusakan yang terjadi adalah rusaknya struktur dari sebuah bangunan cagar budaya yang diakibatkan oleh menurunnya kekuatan material yang digunakan. Cara menyelamatkan bangunan cagar budaya yang rusak salah satunya dengan pemugaran. Pemugaran adalah salah satu cara pengembalian kondisi asli Bangunan Cagar Budaya yang mengalami kerusakan sesuai dengan keaslian material, cara pengerjaan, bentuk dan posisi [1].

Mortar merupakan salah satu komponen penyusun sebuah bangunan yang memiliki fungsi sebagai penutup permukaan pasangan, pengisi rongga diantara pasangan batu, pekerjaan pasangan bata atau batu dan pekerjaan plesteran. Mortar bisa diartikan sebagai campuran bahan atau material yang terbentuk dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Sebelum abad kedua puluh pembuatan mortar untuk membangun pemukiman masih menggunakan mortar berbahan ikat kapur [2].

Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) atau biasa disebut batu gamping tidak dapat langsung digunakan. Batu gamping perlu dilakukan proses pembakaran atau kalsinasi yang menyebabkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) terlepas sehingga menghasilkan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) biasa disebut kapur tohor atau kapur bakar. Kapur tohor dapat menjadi kapur aktif apabila dilakukan proses hidrasi atau perendaman kapur tohor dengan air sehingga menghasilkan kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Apabila kalsium hidroksida diaplikasikan pada agregat dan air menguap sehingga berikatan kembali dengan  $\text{CO}_2$ , senyawa akan kembali mengeras menjadi kalsium karbonat dan memiliki daya ikat. Proses hidrasi kapur tohor menjadi kalsium hidroksida dibutuhkan waktu yang lama. [3]. Penggunaan kapur tohor dimaksudkan untuk menjaga keaslian bahan mortar yang digunakan untuk membangun bangunan bersejarah sebelum abad kedua puluh. Penggunaan kapur tohor lebih efektif untuk meningkatkan kuat tekan pada mortar atau spesi apabila dibandingkan dengan kapur giling (*mill*) [4]. Suplai kapur di wilayah Indonesia sendiri sangat memadai

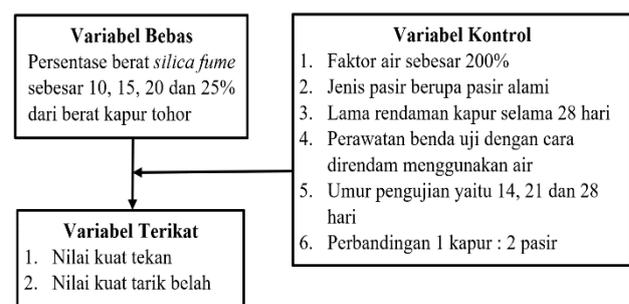
sehingga dapat dijadikan bahan pengganti kebutuhan semen pada pembuatan mortar [5].

Dalam perkembangannya penambahan *admixture* pada mortar mulai dilakukan guna meningkatkan kekuatan mortar, menambah *workability*, hingga mengurangi penggunaan semen untuk menjaga kesehatan lingkungan. Salah satu bahan *admixture* yang digunakan dalam pembuatan mortar adalah *silica fume*. *Silica fume* tergolong kedalam material pozzolan dengan butiran yang sangat halus, dimana komposisi silika sebagian besar dihasilkan dari tempat pembakaran dengan suhu tinggi atau sisa pembuatan silikon atau *alloy* besi silikon. *Silica fume* memiliki kandungan mineral reaktif yang tersusun dari *Silica* (Si) dan Alumina (Al) yang apabila direaksikan dengan air dan kapur bebas akan membentuk massa yang padat dan keras [6].

Berdasarkan kajian di atas, perlu adanya penelitian mengenai pengaruh variasi komposisi mortar kapur padam dengan bahan tambah admixture berupa *silica fume* yang harapannya dapat digunakan sebagai acuan mortar konservasi bangunan cagar budaya serta mampu memenuhi syarat dari segi kekuatannya. Dalam penelitian mortar kapur padam ini dilakukan karakteristik mekanik melalui pengujian eksperimental dan analisis statistik deskriptif kuantitatif dengan tujuan agar membuat mortar kapur padam semakin kuat dan sesuai standar perkuatannya. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian destructive yaitu pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah mortar yang mampu mengidentifikasi perilaku atau kinerja material dibawah beban konstan yang diberikan.

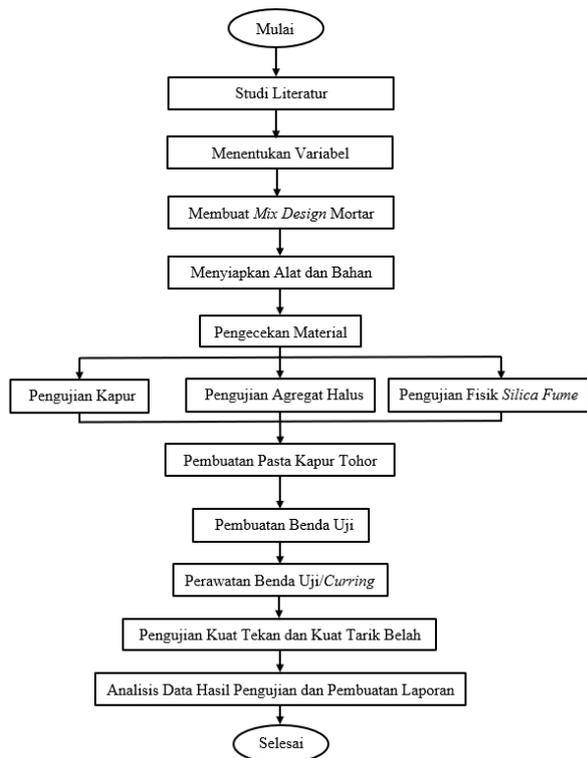
## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu eksperimental kuantitatif bertempat di Laboratorium Bahan Bangunan, Departemen Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta dengan tujuan mengetahui seberapa besar nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik belah kapur padam setelah ditambahkan *silica fume*. Pada penelitian ini menggunakan 3 variabel, yaitu variabel bebas, terikat dan kontrol. Hubungan antar variabel tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Variabel

Selanjutnya penelitian ini memiliki tahapan seperti yang dijelaskan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian.

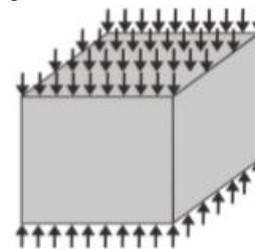
Pada tahap persiapan dilakukan persiapan alat dan juga bahan yang digunakan. Tahapan ini kemudian dilanjutkan dengan pengujian material yang meliputi: (a) pengujian berat jenis pasir SSD; (b) pengujian air pasir SSD; (c) pengujian bobot isi pasir; (d) pengujian kadar air pasir alami; (e) pengujian kadar air pasir SSD; (f) pengujian kadar lumpur pasir; (g) pengujian kadar zat organik; (h) pengujian gradasi pasir; (i) pengujian berat jenis kapur padam; (j) pengujian kadar air kapur padam; (k) pengujian berat jenis *silica fume*.

Pada tahap perencanaan *mix design* persentase penambahan *silica fume* pada mortar kapur yaitu 10, 15, 20, dan 25% dari berat kapur tohor. Perbandingan antara kapur dengan pasir adalah 1:2. Kapur direndam didalam tong dengan nilai faktor air sebesar 200% dari berat kapur selama 28 hari dan kapur yang direndam harus diaduk setiap hari agar tidak terjadi pengendapan. Benda uji berbentuk kubus dengan dimensi 5 x 5 x 5 cm digunakan untuk pengujian kuat tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 10 x 20 cm untuk pengujian kuat tarik belah.

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara melepas benda uji yang telah berumur 24 jam dari cetakan kemudian dimasukkan kedalam kolam rendaman yang berisi air

sampai umur 14, 21 dan 28 hari. Benda uji perlu dilakukan perawatan untuk menghindari proses pengeringan yang cepat yang akan menimbulkan retak pada benda uji [7]. Benda uji dilakukan perawatan berupa direndam didalam kolam rendaman air karena seluruh permukaan benda uji terbasahi oleh air sehingga menyebabkan proses hidrasi atau reaksi mineral dengan air dapat berlangsung dengan optimal sehingga menghasilkan kekuatan dan *durability* yang baik [8].

Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah mortar dilakukan menggunakan alat *universal testing machine* (UTM) sesuai dengan prosedur pada SNI 03-6825-2002. Visualisasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Setelah diperoleh data beban maksimal kemudian dilanjutkan dengan menghitung kuat tekan dan kuat tarik belah mortar dengan rumus berikut [9].



Gambar 2. Visualisasi Uji Kuat Tekan

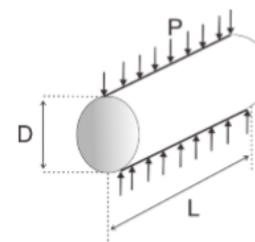
$$\sigma_m = \frac{P_{maks}}{A} \tag{1}$$

Keterangan:

$\sigma_m$  = Nilai kuat tekan mortar (MPa)

$P_{maks}$  = Gaya tekan maksimal (N)

A = Luas penampang ( $mm^2$ )



Gambar 3. Visualisasi Uji Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah mengacu pada SNI 03-2491-2002 [10].

$$\text{Kuat tarik belah} = \frac{2P}{\pi LD} \tag{2}$$

Keterangan:

P = Beban maksimum (kN)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter mortar (mm)

Jumlah benda uji mortar dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Jumlah Benda Uji Mortar

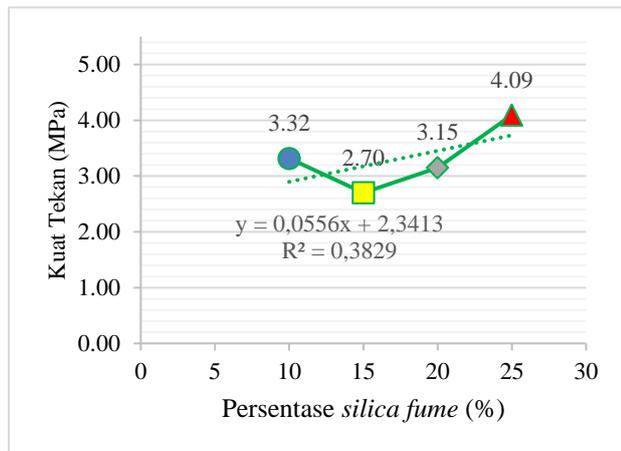
Persentase SF	Pengujian 14 hari	Pengujian 21 hari	Pengujian 28 hari	Jumlah
10%	4 Kubus	4 Kubus	4 Kubus	24
	4 Silinder	4 Silinder	4 Silinder	
15%	4 Kubus	4 Kubus	4 Kubus	24
	4 Silinder	4 Silinder	4 Silinder	
20%	4 Kubus	4 Kubus	4 Kubus	24
	4 Silinder	4 Silinder	4 Silinder	
25%	4 Kubus	4 Kubus	4 Kubus	24
	4 Silinder	4 Silinder	4 Silinder	
Jumlah				96

**3. Pembahasan**

**3.1. Pengujian Kuat Tekan Mortar**

**Tabel 2.** Pengujian Kuat Tekan Umur 14 Hari

No	Persentase SF (%)	Kuat Tekan (MPa)
1	10	3,32
2	15	2,70
3	20	3,15
4	25	4,09

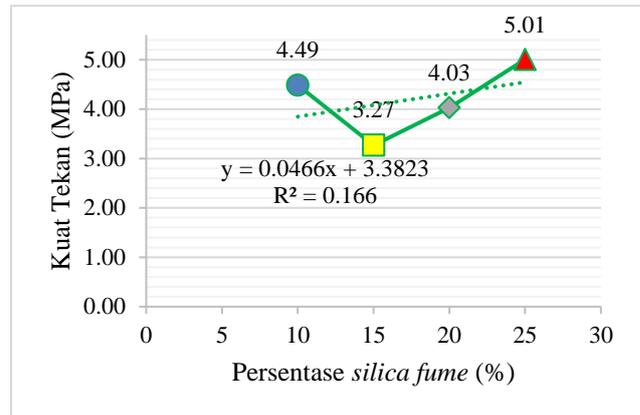


**Gambar 4.** Grafik Kuat Tekan Umur 14 Hari

Berdasarkan pengujian kuat tekan pada umur 14 hari pada Tabel 2 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa mortar kapur memiliki kecenderungan mengalami kenaikan sejalan dengan bertambahnya persentase *silica fume*. Nilai kuat tekan mortar terbesar terdapat pada persentase penambahan *silica fume* tertinggi yaitu 25% dengan nilai kuat tekan sebesar 4,09 MPa.

**Tabel 3.** Pengujian Kuat Tekan Umur 21 Hari

No	Persentase SF (%)	Kuat Tekan (MPa)
1	10	4,49
2	15	3,27
3	20	4,03
4	25	5,01

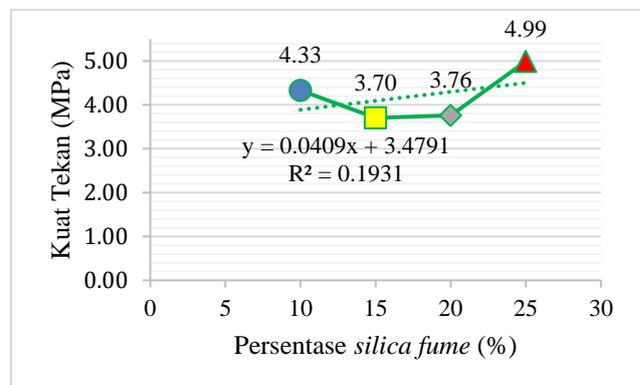


**Gambar 5.** Grafik Kuat Tekan Umur 21 Hari

Berdasarkan pengujian kuat tekan pada umur 14 hari pada Tabel 3 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa mortar kapur memiliki kecenderungan mengalami kenaikan sejalan dengan bertambahnya persentase *silica fume*. Nilai kuat tekan mortar terbesar terdapat pada persentase penambahan *silica fume* tertinggi yaitu 25% dengan nilai kuat tekan sebesar 5,01 MPa.

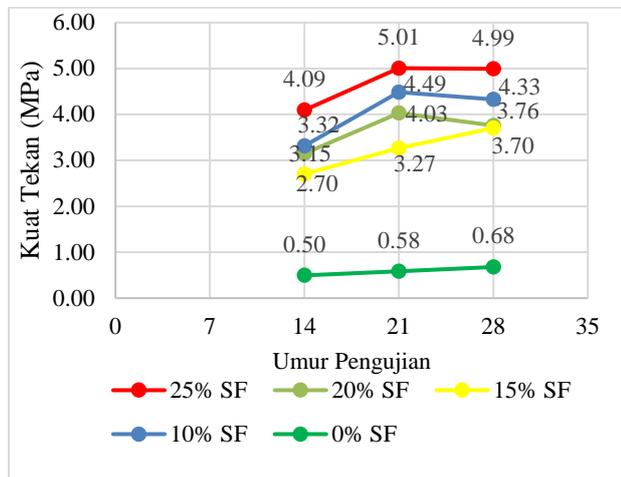
**Tabel 4.** Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

No	Persentase SF (%)	Kuat Tekan (MPa)
1	10	4,33
2	15	3,70
3	20	3,76
4	25	4,99



**Gambar 6.** Grafik Kuat Tekan Umur 28 Hari

Berdasarkan pengujian kuat tekan pada umur 14 hari pada Tabel 4 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa mortar kapur memiliki kecenderungan mengalami kenaikan sejalan dengan bertambahnya persentase *silica fume*. Nilai kuat tekan mortar terbesar terdapat pada persentase penambahan *silica fume* tertinggi yaitu 25% dengan nilai kuat tekan sebesar 4,99 MPa.

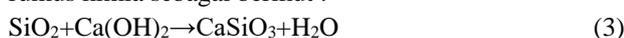


Gambar 7. Grafik Rekapan Uji Kuat Tekan

Berdasarkan Gambar 8, nilai kuat tekan mortar menunjukkan kecenderungan yang sama mulai dari variasi 1 sampai dengan variasi 4 semuanya mengalami kecenderungan peningkatan kuat tekan berdasarkan umur benda uji.

Dalam penelitian ini kontrol benda uji (0% SF) dilakukan menggunakan data dari penelitian Buana, M. B. E (2023) yang meneliti tentang efek variasi waktu perendaman kapur padam. Dimana data benda uji yang dijadikan kontrol di atas memiliki variabel yang sama, yang membedakan adalah pada benda uji yang dijadikan kontrol tidak menggunakan campuran *silica fume* sama sekali. Mortar dengan tambahan *silica fume* bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Buana, M. B. E (2023) dimana kuat tekan kapur padam tanpa penambahan *silica fume* hanya mendapatkan nilai 0,68 MPa pada umur 28 hari, mortar kapur padam yang ditambahkan *silica fume* sebesar 10%, 15%, 20% dan 25% mampu meningkatkan kuat tekan mortar secara berurutan sebesar 636,8%, 544%, 552,9% dan 733,8% dari mortar tanpa penambahan *silica fume* dengan nilai kuat tekan rerata pada umur 28 hari secara berurutan sebesar 4,33, 3,70, 3,76 dan 4,99 MPa.

Meningkatnya kuat tarik belah mortar yang ditambah *silica fume* diakibatkan karena terjadinya reaksi kimia antara kapur padam  $Ca(OH)_2$  dengan *silica fume*  $SiO_2$  dengan rumus kimia sebagai berikut :

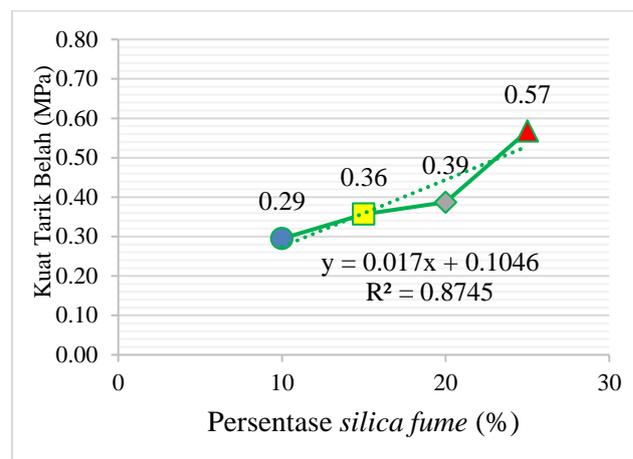


Dalam persamaan 3,  $SiO_2$  bereaksi dengan  $Ca(OH)_2$  untuk membentuk kalsium silikat hidrat (CSH). Kalsium silikat hidrat (CSH) merupakan komponen utama yang memberikan kekuatan mekanik dan stabilitas pada struktural beton. Semakin tinggi persentase penambahan *silica fume* akan menyebabkan meningkatnya kuat tekan mortar. Hal ini dikarenakan semakin banyak penambahan *silica fume* maka, semakin banyak pula kapur yang bereaksi dengan *silica fume* dan membentuk kalsium silikat hidrat (CSH).

### 3.2. Pengujian Kuat Tarik Belah

Tabel 5. Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 14 Hari

No	Persentase SF (%)	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	10	0,29
2	15	0,36
3	20	0,39
4	25	0,57

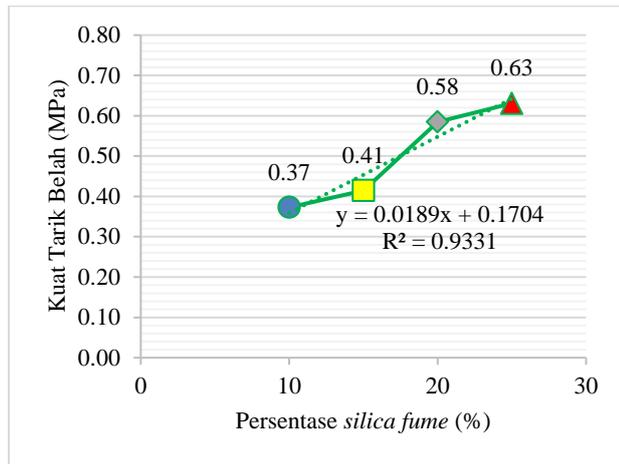


Gambar 8. Grafik Kuat Tarik Belah Umur 14 Hari

Dilihat dari Tabel 5 dan Gambar 9, grafik menunjukkan bahwa saat benda uji berumur 14 hari nilai kuat tarik belah memiliki kecenderungan naik sejalan dengan bertambahnya *silica fume*, nilai kuat tarik belah terendah adalah mortar variasi 1 (10% SF) sebesar 0,29 MPa, kemudian nilai kuat tarik belah semakin meningkat pada mortar variasi 2 (15% SF), variasi 3 (20% SF) dan variasi 4 (25%) dengan nilai kuat tarik belah secara berturut-turut sebesar 0,36 MPa, 0,39 MPa, 0,57 MPa.

**Tabel 6.** Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 21 Hari

No	Persentase SF (%)	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	10	0,37
2	15	0,41
3	20	0,58
4	25	0,63

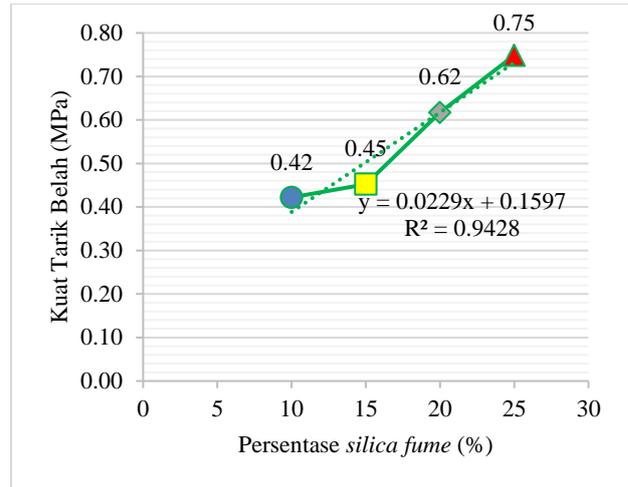


**Gambar 9.** Grafik Uji Kuat Tarik Belah Umur 21 Hari

Dilihat dari Tabel 6 dan Gambar 10, grafik menunjukkan bahwa saat benda uji berumur 21 hari nilai kuat tarik belah memiliki kecenderungan naik sejalan dengan bertambahnya *silica fume*, nilai kuat tarik belah terendah adalah mortar variasi 1 (10% SF) sebesar 0,37 MPa, kemudian nilai kuat tarik belah semakin meningkat pada mortar variasi 2 (15% SF), variasi 3 (20% SF) dan variasi 4 (25%) dengan nilai kuat tarik belah secara berturut-turut sebesar 0,41 MPa, 0,58 MPa, 0,63 MPa.

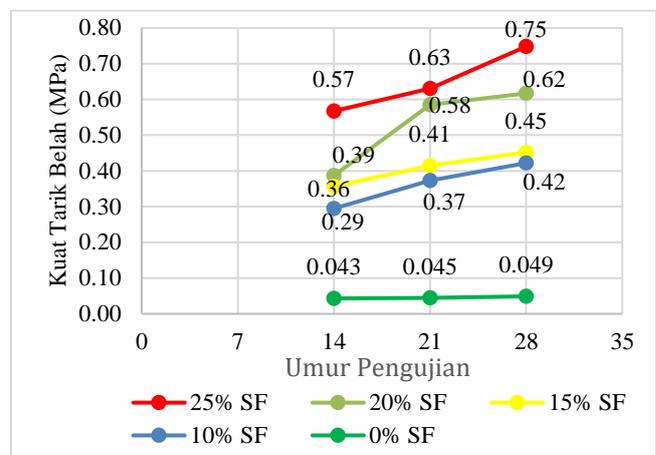
**Tabel 7.** Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari

No	Persentase SF (%)	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	10	0,37
2	15	0,41
3	20	0,58
4	25	0,63



**Gambar 10.** Grafik Uji Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari

Dilihat dari Tabel 7 dan Gambar 11, grafik menunjukkan bahwa saat benda uji berumur 21 hari nilai kuat tarik belah memiliki kecenderungan naik sejalan dengan bertambahnya *silica fume*, nilai kuat tarik belah terendah adalah mortar variasi 1 (10% SF) sebesar 0,42 MPa, kemudian nilai kuat tarik belah semakin meningkat pada mortar variasi 2 (15% SF), variasi 3 (20% SF) dan variasi 4 (25%) dengan nilai kuat tarik belah secara berturut-turut sebesar 0,45 MPa, 0,62 MPa, 0,75 MPa.



**Gambar 11.** Grafik Rekapitulasi Uji Kuat Tarik Belah

Dilihat dari Gambar 12, mortar dengan tambahan *silica fume* bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Buana, M. B. E (2023) dimana kuat tarik belah mortar kapur padam tanpa penambahan *silica fume* hanya mendapatkan nilai 0,049 MPa pada umur 28 hari [11], mortar kapur padam yang ditambahkan *silica fume* sebesar 10, 15, 20 dan 25% mampu meningkatkan kuat tarik belah mortar secara berurutan sebesar 857%, 918,4%, 1265% dan 1530% dari mortar tanpa penambahan *silica fume* dengan nilai kuat tarik belah rerata pada umur 28 hari secara berurutan sebesar 0,42, 0,45, 0,62 dan 0,75 MPa.

Meningkatnya kuat tarik belah mortar yang ditambah *silica fume* diakibatkan karena terjadinya reaksi kimia antara kapur padam  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dengan *silica fume*  $\text{SiO}_2$  dengan rumus kimia pada persamaan 3. Dalam persamaan 3,  $\text{SiO}_2$  bereaksi dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  untuk membentuk kalsium silikat hidrat (CSH). Kalsium silikat hidrat (CSH) merupakan komponen utama yang memberikan kekuatan mekanik dan stabilitas pada struktural beton. Semakin tinggi persentase penambahan *silica fume* akan menyebabkan meningkatnya kuat tarik belah mortar. Hal ini disebabkan karena semakin banyak persentase penambahan *silica fume* maka, semakin banyak pula kapur yang bereaksi dengan *silica fume* dan membentuk kalsium silikat hidrat (CSH).

#### 4. Simpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penambahan *silica fume* dapat berpengaruh terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah mortar. Hasil analisis data kuat tekan pada persentase penambahan *silica fume* 10, 15, 20, dan 25% yang diuji pada umur 28 hari secara berurutan sebesar 4,33, 3,70, 3,76, dan 4,99 MPa. Kuat tarik belah sebesar 0,42, 0,45, 0,62, dan 0,75 MPa. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa persentase penambahan *silica fume* paling tinggi yaitu 25% dari berat kapur mendapatkan kuat tekan dan tarik belah paling optimum.

#### Daftar Rujukan

- [1] Indonesia. 2010. Undang-undang republik indonesia nomor 11 tahun 2010 tentang cagar budaya. Sekretariat Negara. Jakarta
- [2] SNI 6882-2014. (2014). "Spesifikasi mortar untuk pekerjaan pasangan," Badan Standarisasi Nasional.
- [3] A. Swastikawati, L. A. Haldoko, P. D. Hanggoro, and R. Kurniadi, "Rekonstruksi Mortar Tradisional untuk Pemugaran Benteng Nusantara" Tahap II (Pengaruh Waktu Perendaman Kapur dan Komposisi Terhadap Kuat Tekan Mortar)," pp. 1– 16, 2022.
- [4] Endaryanta. 2005. "Pengaruh Penggunaan Kapur Bakar dan Kapur giling (*mill*) Terhadap Kuat Tekan Spesi," *Jurnal Inersia*, (online), Vol. I, No. 2(<https://journal.uny.ac.id/index.php/inersia/article/view/8242/6885>, diakses 20 februari 2023)
- [5] E. Riyanto, E. Widyananto, and R. R. Renaldy, "Analisis kuat tekan mortar geopolimer berbahan *silica fume* dan kapur tohor," *Jurnal Inersia*, 17(1), 19– 26, 2021.
- [6] ASTM C1240-20, S. F. (2020). *Astm C1240-20. In ASTM C1240-20, "Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures," ASTM International, West Conshohocken, PA.*, <https://doi.org/10.21831/inersia.v17i1.35901>
- [7] Sutandar, E. (2013). "Pengaruh Pemeliharaan (Curing) Pada Kuat Tekan Beton Normal," *Jurnal Vokasi Universitas Tanjungpura*: Vol. IX (Issue 2).
- [8] Prasetyo, Y. E., & Widodo, S. (2015). "Pengaruh Cara Perawatan Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur High Early Strength Fiber Reinforced Concrete," In *46 INERSIA: Vol. XI No.1*.
- [9] SNI 03-6825-2002. (2002). "Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil," Badan Standarisasi Nasional.
- [10] SNI 03-2491-2002. (2002). "Metode pengujian kuat tarik belah beton," Badan Standarisasi Nasional.
- [11] Buana, M, B, E. (2023). "Efek Variasi Waktu Rendaman Kapur Padam Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Mortar," (Skripsi Sarjana, Universitas Negeri Yogyakarta)