

## **Pengaruh *Silica Fume* dan Pecahan Batu Marmer Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton**

**Elli Mercy Julmile <sup>\*1</sup>, Frans Phengkarsa <sup>\*2</sup>, Suryanti Rapang Tonapa <sup>\*3</sup>**

<sup>\*1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia [mercyjulamil@gmail.com](mailto:mercyjulamil@gmail.com)

<sup>\*2,3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia [Ephengkarsa@hotmail.com](mailto:Ephengkarsa@hotmail.com) <sup>\*2</sup> dan [tonapa.27rv.bubble@gmail.com](mailto:tonapa.27rv.bubble@gmail.com) <sup>\*3</sup>

**Corresponding Author:** [mercyjulamil@gmail.com](mailto:mercyjulamil@gmail.com)

### **Abstrak**

Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan silica fume dan pecahan batu marmer sebagai bahan substitusi pada campuran beton pada kuat tarik belah, kuat lentur beton dan kuat tekan. Pengujian benda uji yakni kuat tarik belah, kuat lentur, dan kuat tekan. Pada penelitian ini direncanakan mutu beton yaitu 25 MPa. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan beton untuk variasi pecahan batu marmer sebesar 50% dan Silica Fume 0%, 10%, 12,5% dan 15% yaitu sebesar 25,175 MPa, 25,832 MPa, 24,606 MPa dan 24,229 MPa, pengujian kuat tarik belah untuk variasi pecahan batu marmer sebesar 50% dan Silica Fume 0%, 10%, 12,5% dan 15% adalah sebesar 1,886 MPa, 1,909 MPa, 1,862 MPa dan 1,815 MPa, uji kuat lentur untuk variasi pecahan batu marmer sebesar 50% dan Silica Fume 0%, 10%, 12,5% dan 15% yaitu sebesar 25,175 MPa, 25,832 MPa, 24,606 MPa dan 24,229 MPa. Pengaruh substitusi pecahan batu marmer sebagai agregat kasar sebesar 50% serta substitusi silica fume sebagai semen dengan variasi 0%, 10%, 12,5% dan 15% pada nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton didapatkan nilai maksimal substitusi silica fume pada variasi 10% dan mengalami penurunan kekuatan diatas variasi silica fume 10%, makin tinggi persentase substitusi silica fume maka kekuatan beton makin rendah.

**Kata kunci :** Pecahan batu marmer, *silica fume*, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur.

### **Abstract**

The aim of this study was to determine the effect of using silica fume and marble stone fragments as substitution materials in concrete mixtures on split tensile strength, concrete flexural strength and compressive strength. Testing test objects are split tensile strength, bending strength, and compressive strength. In this study, the quality of concrete is planned, which is 25 MPa. From the results of the study, the compressive strength value of concrete for variations in marble fragments was 50% and Silica Fume was 0%, 10%, 12.5% and 15%, namely 25,175 MPa, 25,832 MPa, 24,606 MPa and 24,229 MPa, testing the tensile strength of splits for variations in marble fragments by 50% and Silica Fume by 0%, 10%, 12.5% and 15% was 1,886 MPa, 1,909 MPa, 1,862 MPa and 1,815 MPa, bending strength test for variations in marble shards by 50% and Silica Fume by 0%, 10%, 12.5% and 15% by 25,175 MPa, 25,832 MPa, 24,606 MPa and 24,229 MPa. The effect of the substitution of marble fragments as coarse aggregates by 50% and the substitution of silica fume as cement with variations of 0%, 10%, 12.5% and 15% on the values of compressive strength, tensile strength, and bending strength of concrete obtained the maximum value of silica fume substitution at a variation of 10% and decreased in strength above the variation of silica fume 10%, the higher the percentage of silica fume substitution, the lower the strength of concrete.

**Keywords :** Marble shards, *silica fume*, compressive strength, split tensile strength, bending strength.

## PENDAHULUAN

Beton ialah campuran batu pecah, pasir, kerikil, atau agregat lainnya yang dicampur dengan pasta semen dan air.[1] . Bobot spesifik dari berat normal ialah 2300-2400 kg/m<sup>3</sup>, daya tahan beton dan nilai kekuatannya memiliki faktor, antara lain : Rasio pencampuran dan mutu bahan penyusunan, cara pengecoran, finishing, temperatur dan kondisi merawat pengerasannya.[2]

Aktivitas industri yang berjalan makin pesat hasil dari penambangan dan pengolahan batu marmer biasanya menghasilkan limbah buangan yang mengakibatkan limbah yang menumpuk. Jika tak ditangani secara baik limbah yang dihasilkan akan menyebabkan masalah lingkungan. Limbah yang dihasilkan nantinya akan mengalami peningkatan, jika melihat perkembangan industri pengolahan batu marmer itu. Dengan dasar pemaparan itu, tentu diperlukan pengadaan sebuah inovasi guna pemanfaatan limbah industri batu marmer dari limbah yang awalnya menjadi perusak lingkungan hingga jadi suatu yang bermanfaat dan menjanjikan. [3] Kandungan kimia pada pecahan marmer mengandung 55,07% Kalsium Oksida (CaO) dan unsur-unsur kimia lainnya [4]. Limbah marmer menjadi bahan substitusi agregat kasar mampu mencapai nilai kuat tekan beton mutu normal 25 Mpa sebesar 10%.-30%. [5]

Sifat beton akan mengalami penurunan kekuatan akibat adanya bahan tambah semen, agregat, dan adanya pori-pori. Pengurangan faktor air semen dan penambahan additive seperti *silica fume* sering digunakan untuk memodifikasi komposisi beton dan mengurangi porositas.[6]

Bahan yang memiliki kandungan SiO<sub>2</sub> lebih besar dari 85% dan sebagai bahan yang sangat halus berbentuk bulat dan diameternya 1/100 diameter semen dinamakan *Silica Fume*. [7] Dilihat dari sifat kimianya, secara geometri *silica fume* telah mengisi rongga diantara bahan semen, dan berdampak pada diameter pori yang mengalami pengecilan serta total volume pori yang berkurang. Sifat mekanik *silica fume* punya reaksi yang sifatnya *pozzolan* yang memiliki reaksi pada batu kapur yang dilepas semen.[8] Penggunaan *Silica fume* menunjukkan sifat mereduksi panas semen dan meningkatkan kuat tekan pada umur beton tua, serta dapat mengurangi penggunaan semen sebesar 5%-15%. [9] Dengan penambahan *silica fume* pada campuran beton dapat membuat campuran menjadi kohesif dan tidak terjadi segregasi pada adukan beton yang berarti dapat meningkatkan kuat tekan akhir beton.[10]

Penelitian yang dilakukan oleh Anung Sudiby, Salma Alwi, Annisa Putri Indirwana tentang “Pengaruh Penggunaan *Silica Fume* Dengan Material Batu Laterit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton”. Di penelitian ini dilakukan substitusi semen dengan penggunaan *Silica Fume* yang variasinya 0%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5%, dan substitusi agregat kasarnya sebesar 20% menggunakan batu Laterit. Dari hasil pengujian kuat tekan beton yang didapatkan dengan berumur 28 hari berurutan adalah 22,03 Mpa, 23,73 Mpa, 25,28 Mpa, 26,28 Mpa, dan 25,33 Mpa. [11] Safrin Zuraidah & Rahmat Arif Jatmiko, 2007 dengan karya “Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton”, menunjukkan penggunaan limbah batu marmer menjadi pengganti sebagian agregat kasar dengan variasi 0%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil pengujian kuat tekan yang didapati umur beton 28 hari berurutan sebesar 35,36 Mpa, 28,68 Mpa, 31,13 Mpa, 20,97 Mpa. [12]

## 1. METODOLOGI PENELITIAN

### a. Lokasi Pengambilan Agregat

Agregat kasar dan halus yang diterapkan pada penelitian ini berasal dari Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan



Gambar 1. Lokasi pengambilan Agregat kasar dan halus

### b. Pengadaan Material

- a) Agregat kasar dan halus berasal dari Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.
- b) Semen *Portland Composit Cement* (PCC).
- c) Air sumur bor, di Laboratorium Teknologi dan Bahan Beton UKI-Paulus, Makassar.
- d) Pecahan batu marmer berasal dari PT. Bosowa Mining, Maccini Baji, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan.
- e) *Silica Fume* berasal dari PT. Sika Indonesia.



Gambar 2. Pecahan Batu Marmer



Gambar 3. Silica Fume

### c. Pengujian Karakteristik Material

Agregat yang dipakai pada campuran beton perlu dilakukan pemeriksaan pada ciri-ciri sebelum dipakai untuk benda uji guna jaminan kualitas mutunya. Uji karakteristik agregat dilaksanakan berdasarkan SNI.

Tabel 1. Standar pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian	Standar Pengujian	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
Kadar Air	SNI 03-1971-2011	SNI 03-1971-2011
Kadar Lumpur	SNI 03-4142-1996	SNI 03-4142-1996
Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 1969-2008	SNI 1970-2008
Berat Volume	SNI 03-4804-1998	SNI 03-4804-1998
Analisa Saringan	SNI ASTM C136	SNI ASTM C136
Zat Organik	-	SNI 2816-2014

**d. Mix Design (SNI 03-2834-2000)**

Tabel 2. Kebutuhan Material Campuran Beton untuk 1m<sup>3</sup> dalam berat (kg)

Material	Variasi			
	0%	10%	12,5%	15%
Air (L)	1,261	1,261	1,261	1,261
Semen (kg)	2,523	2,270	2,207	2,144
Agregat kasar (kg)	3,453	3,453	3,453	3,453
Agregat halus (kg)	4,056	4,056	4,056	4,056
Marmer (kg)	3,215	3,215	3,215	3,215
Silica fume (kg)	0,00	0,111	0,139	0,166

**e. Pengujian Benda Uji**

**1) Pengujian Kuat Tekan**

Kuat tekan beton berdasar SNI 1974:2011 ialah besarnya beban persatuan luas, yang menimbulkan benda uji beton menghadapi kehancuran jika bebannya ialah gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan atau *Compression Testing Machine*.

**2) Pengujian Tarik Belah**

Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 2491:2019. Kuat tarik belah beton secara umum dilaksanakan pengujian dengan umur 28 hari dari benda uji dan harus kondisi kering udara setelah dipelihara.

**3) Pengujian Kuat Lentur**

Kuat lentur beton pada SNI 4431:2011 ialah kemampuan balok beton yang letaknya di 2 perletakan guna menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diberi padanya sampai balok tersebut patah dan dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa).



Gambar 4. Sampel pengujian kuat tekan.



Gambar 5. Sampel pengujian kuat tarik belah.



Gambar 6. Sampel pengujian kuat lentur.

## 2. ANALISA DAN PEMBAHASAN

### a. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

#### 1) Agregat Halus

Tabel 3. Hasil Karakteristik Agregat Halus

No.	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1	Kadar Air	3,952	3,00%-5,00%	Memenuhi
2	Zat Organik	No. 1	< No. 3	Memenuhi
3	Kadar Lumpur	1,523	0,20%-6,00%	Memenuhi
4	Berat Volume Padat	1,607	1,4 kg/l - 1,9 kg/l	Memenuhi
5	Berat Volume Gembur	1,401	1,4 kg/l - 1,9 kg/l	Memenuhi
6	Berat Jenis SSD	2,871	1,60-3,20	Memenuhi
7	Absorsi (Penyerapan)	1,523	1,20%-2,00%	Memenuhi

Tabel 4. Hasil Karakteristik Agregat Kasar

No.	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1	Kadar Air	0,888	0,5% - 2,00%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	0,827	0,20% - 1,00%	Memenuhi
3	Berat Volume Padat	1,622	1,4 kg/l - 1,9 kg/l	Memenuhi
4	Berat Volume Gembur	1,543	1,4 kg/l - 1,9 kg/l	Memenuhi
5	Berat Jenis SSD	2,693	1,6 - 3,2	Memenuhi
6	Absorsi (Penyerapan)	0,827	0,20% - 4,00%	Memenuhi

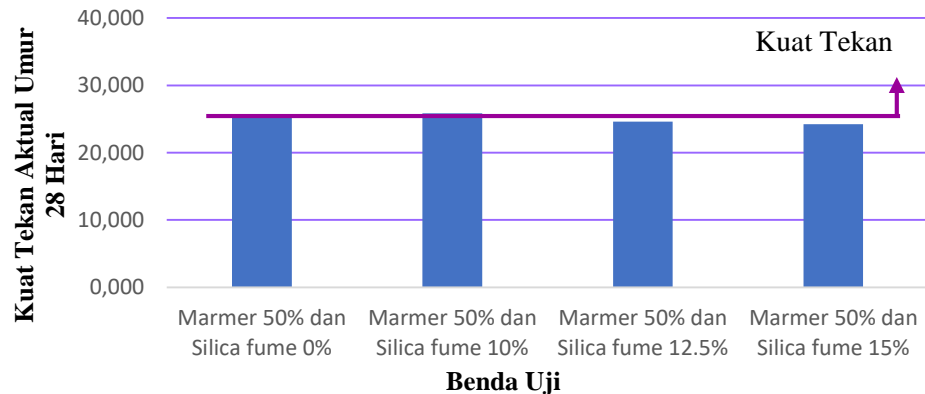
**b. Hasil Pengujian**

**1) Kuat Tekan Beton**

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan	Umur	Kuat Tekan Aktual (Mpa)	Faktor Umur	Kuat Tekan Konversi 28 hari (Mpa)	Kuat Tekan Konversi 28 hari (Mpa)
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 0%	7	18.384	0.65	28.283	25.237
		15.273		23.497	
		15.556		23.932	
	21	23.192	0.95	24.413	25.206
		24.889		26.199	
		23.758		25.008	
	28	25.455	1	25.455	25.172
		26.02		26.02	
		24.04		24.04	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 10%	7	16.121	0.65	24.802	25.672
		18.667		28.718	
		15.273		23.497	
	21	23.758	0.95	25.008	25.206
		23.475		24.71	
		24.606		25.901	
	28	28.283	1	28.283	25.832
		24.323		24.323	
		24.889		24.889	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 12.5%	7	15.273	0.65	23.497	22.481
		14.141		21.756	
		14.424		22.191	
	21	23.475	0.95	24.71	25.206
		24.04		25.306	
		24.323		25.603	
	28	24.04	1	24.04	24.606
		25.172		25.172	
		24.606		24.606	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 15%	7	14.707	0.65	22.626	23.497
		15.273		23.497	
		15.838		24.367	
	21	22.061	0.95	23.222	23.42
		23.192		24.413	
		21.495		22.626	
	28	23.475	1	23.475	24.229
		25.172		25.172	
		24.04		24.04	

Berdasarkan Tabel 5. Bahwa pengujian kuat tekan beton setelah 28 hari menunjukkan nilai maksimal substitusi *silica fume* pada variasi 10% dan mengalami penurunan kekuatan diatas variasi *silica fume* 10% yang brarti makin tinggi persentase substitusi *silica fume* maka kekuatan beton akan makin rendah.



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan Beton

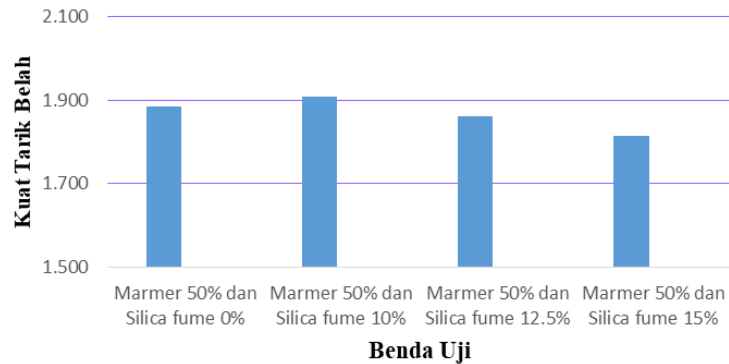
Dari grafik hasil pengujian kuat tekan beton pada beton normal dengan penggunaan variasi *silica fume* 0% menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata 28 hari adalah 25,172 MPa, beton variasi *silica fume* 10% sebesar 25,832 MPa, beton variasi *silica fume* 12,5% sebesar 24,606 MPa, dan beton variasi *silica fume* 15% sebesar 24,229 MPa. Dimana nilai kuat tekan tertinggi pada variasi 10% dan mengalami penurunan setiap penambahan persentase *silica fume*.

**2) Kuat Tarik Belah Beton**

Berdasarkan Tabel 6. Hasil pengujian kuat tarik belah beton menunjukkan nilai maksimal substitusi silica fume pada variasi 10% dan mengalami penurunan kekuatan diatas variasi silica fume 10%.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Kuat Tarik Belah	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Rata-rata Kuat Tarik Belah (Mpa)
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 0%	130	1.838	1.886
	140	1.98	
	130	1.838	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 10%	130	1.838	1.909
	135	1.909	
	140	1.98	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 12.5%	125	1.768	1.862
	140	1.98	
	130	1.838	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 15%	130	1.838	1.815
	135	1.909	
	120	1.697	



Gambar 8. Grafik Kuat Tarik Belah

Berdasarkan grafik, nilai kuat tarik belah beton dengan substitusi marmer sebagai agregat kasar sebesar 15% serta substitusi *Silica fume* pada semen dengan variasi sebesar 0%, 10%, 12,5% dan 15% berturut-turut adalah 1,886 MPa, 1,909 MPa, 1,862 MPa dan 1,815 MPa. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kuat tarik belah meningkat pada variasi *silica fume* 10% dan mengalami penurunan pada variasi *silica fume* 12,5% dan 15%

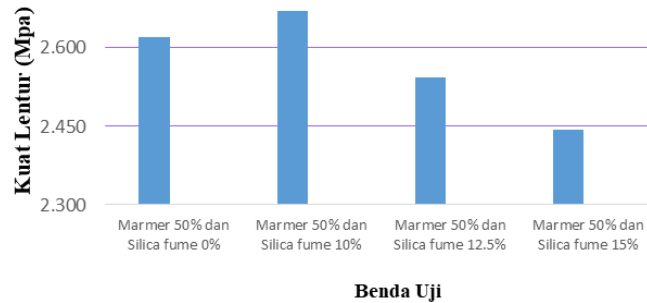
### 3) Kuat Lentur Beton

Dari tabel 7, hasil perhitungan kuat lentur beton umur 28 hari, menunjukkan hasil kuat lentur beton maksimal pada variasi *silica fume* 10% dan mengalami penurunan diatas variasi 10%.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Kuat Lentur	Beban Maksimum (ton)	Kuat Lentur (Mpa)	Rata-rata Kuat Lentur Beton (Mpa)
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 0%	1.75	2.644	2.619
	1.8	2.72	
	1.65	2.493	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 10%	1.85	2.795	2.669
	1.75	2.644	
	1.7	2.569	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 12.5%	1.6	2.418	2.543
	1.7	2.569	
	1.75	2.644	
Batu Marmer 50% dan <i>Silica fume</i> 15%	1.6	2.418	2.443
	1.65	2.493	
	1.6	2.418	





Gambar 9. Grafik Kuat Lentur

Berdasarkan grafik, nilai kuat lentur beton dengan substitusi marmer sebagai agregat kasar sebesar 50% serta substitusi *Silica fume* sebagai semen dengan variasi sebesar 0%, 10%, 12,5% dan 15% berturut-turut adalah 2,619 MPa, 2,669 MPa, 2,543 MPa, dan 2,443 MPa. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kuat lentur beton pada variasi *silica fume* 10% mengalami peningkatan sedangkan pada variasi *silica fume* 12,5% dan 15% mengalami penurunan.

### c. Hubungan Hasil Pengujian

#### 1) Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton

Tabel 8. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Batu Marmer <i>Silica Fume</i>	Rata-rata (Mpa)		Persentase Hubungan $f_{ct}$ dengan $f'_c$ (%)
	Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	
0%	25.175	1.886	7.490
10%	25.832	1.909	7.390
12.5%	24.606	1.862	7.567
15%	24,229	1.815	7.490

Berdasarkan tabel diatas nilai tertinggi persentase hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah beton terjadi pada variasi *silica fume* 0% dan 15% yaitu sebesar 7,490%. Nilai pada tabel tersebut telah memenuhi nilai korelasi kuat tarik belah dengan kuat tekan beton, dimana menurut Agus Setiawan (2016) pada umumnya kuat tarik belah berkisar antara 7% hingga 11% dari kuat tekannya.

#### 2) Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kuat Lentur Beton

Pada tabel menunjukkan hasil hubungan kuat tekan dengan kuat lentur berbanding terbalik dengan bertambahnya persentase variasi *silica fume* yang digunakan dimana diperoleh pada variasi *silica fume* 0% nilai kuat lentur  $0,522\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan beton, pada variasi *silica fume* 10% nilai kuat lentur  $0,525\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan beton, pada variasi *silica fume* 12,5% nilai kuat lentur  $0,513\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan beton dan pada variasi *silica fume* 15% nilai kuat lentur  $0,496\sqrt{f'_c}$  dari nilai kuat tekan beton.

Tabel 9. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Batu Marmer <i>Silica Fume</i>	Rata - rata (Mpa)		Nilai Perbandingan $\frac{f_r}{\sqrt{f_c}}$ (x)
	Kuat Tekan ( $f_c$ )	Kuat Lentur ( $f_r$ )	
0%	25.175	2.619	0.522
10%	25.832	2.669	0.525
12.5%	24.606	2.543	0.513
15%	24,229	2.443	0.496

### 3. KESIMPULAN

- Pengaruh substitusi pecahan batu marmer sebagai agregat kasar sebesar 50% serta substitusi *silica fume* sebagai semen dengan variasi 0%, 10%, 12,5% dan 15% terhadap nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton didapatkan nilai maksimal substitusi *silica fume* pada variasi 10% dan mengalami penurunan kekuatan diatas variasi *silica fume* 10% dimana semakin tinggi persentase substitusi *silica fume* maka kekuatan beton semakin rendah.
- Berdasarkan hasil penelitian ini, untuk hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah yaitu semakin tinggi nilai kuat tekan semakin tinggi pula nilai kuat tarik belahnya. Sedangkan pada hubungan kuat tekan dan kuat lentur didapatkan hasil tertinggi pada variasi 10% yaitu 0,525 dan terendah di variasi 15% dengan nilai 0,496.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mc Cormac, Jack C. 2004. “*Desain Beton Bertulang-Edisi Kelima-Jilid 2*”. Penerbit Erlangga;Jakarta.
- [2] Dipohusodo, Istimawan. 1994. “*Struktur Beton Bertulang*”, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [3] Safrin Zuraidah, (2005) “*Penggunaan Pecahan Batu Kapur sebagai Alternatif Agregat Kasar Ditinjau Terhadap Kuat Tekan Beton*”. <https://core.ac.uk/download/pdf/12216728.pdf>
- [4] Nauk, S, Sepriulus. (2012). “*Penggunaan Limbah Batu Marmer Dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Pada Campuran Beton*”. <https://ejournal.petra.ac.id/index.php/jurnal-teknik-sipil/article/view/18895/18574>
- [5] Almindo, Oki., Carlo, Nasfryzal., Hasan, Warman, Mufti. (2019). “*Pengaruh Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan*”. <https://ejournal.bunghatta.ac.id/index.php/JFTSP/article/view/13890>
- [6] Zai., Aprieli, Krisman. (2014). “*Pengaruh Penambahan Silica Fume dan Superplasticizer terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Metode ACI (American Concrete Institute)*”. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/79843>

- [7] Tarru, R. O. (2018). "*Studi Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton*". <https://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/dynamicsaint/article/view/271/230>
- [8] M. M. Siranga, S. R. Tonapa, dan F. Phengkarsa, "Pengaruh Penggunaan Pasir Putih Sebagai Bahan Campuran Beton Mutu Tinggi," Paulus Civ. Eng. J., vol. 3, no. 3, hlm. 341–352, 2021, doi: <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i3.284>.
- [9] Sutriono, B., Trimurtiningrum, R., & Rizkiardi, A. (2018). "*Pengaruh Silica Fume sebagai Substitusi Semen terhadap Nilai Resapan dan Kuat Tekan Mortar (Hal. 12-21)*. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil" <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/2438>
- [10] Haris, Samun., Firdaus, Rizal. (2021). "*Pengaruh Penggunaan Silica Fume Powder Terhadap Kuat Tekan Beton*". <https://www.ejournal.stmandalabdg.ac.id/index.php/JIT/article/view/207>
- [11] R. P. Pakanan, J. Tanijaya, dan O. J. Sanggaria, "Pengaruh Serbuk Cangkang Keong Sawah Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Beton Normal," Paulus Civ. Eng. J., vol. 3, no. 3, hlm. 368–378, 2021, doi: <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i3.288>.
- [12] Irawan, Ilfan. (2014). "*Pengaruh Silica Fume Terhadap Beton Mutu Tinggi Self Compacting Concrete*". S1 thesis, Universitas Pendidikan Indonesia. <http://repository.upi.edu/6723/>
- [13] Sudibyoy, A., Alwi, S., & Indirwana, A. P. (2021). "*Pengaruh Penggunaan Silica Fume Dengan Material Batu Laterit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton*". <http://e-journal.polnes.ac.id/index.php/inersia/article/view/666>
- [14] Zuraidah, S., & Jatmiko, R. A. (2007). "*Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton*". [http://eprints.upnjatim.ac.id/1298/1/TS-SAFRIN\\_33.pdf](http://eprints.upnjatim.ac.id/1298/1/TS-SAFRIN_33.pdf)