

# KAJIAN MODULUS OF RUPTURE DAN KUAT TARIK BELAH PADA BETON BUBUK REAKTIF DENGAN VARIASI KOMPOSISI SILICA FUME

Wibowo<sup>1\*</sup>, Achmad Basuki<sup>1</sup>, dan M. Haris Habibi<sup>1</sup>

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36 A, Kentingan, Surakarta 57126, Telp (0271)647069, Fax 662118

\*Email: [wibowo68@staff.uns.ac.id](mailto:wibowo68@staff.uns.ac.id)

## Abstract

Reactive powder concrete (RPC) is a concrete that in its mixture eliminates the use of coarse aggregate. The modulus of rupture and split tensile strength of concrete is one of the parameters used to determine the quality of concrete. The modulus of rupture is the highest tensile strength value found at the bottom of a beam sample. Split tensile strength is an indirect tensile strength value that reflects the true tensile strength value. This study aims to identify the value of the modulus of rupture and split tensile strength in RPC concrete with the addition of variations in silica fume content of 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; and 25%. This research method uses an experimental method by testing the modulus of rupture and tensile strength testing in the laboratory and the theoretical method using regression analysis. The modulus of rupture test was carried out using a UTM (universal testing machine) machine with a beam-shaped test object with dimensions of 40 cm long, 10 cm wide, and 10 cm high totaling 18 pieces, while the split tensile strength test used a CTM (compression testing machine) machine with cylindrical specimens with dimensions of 30 cm high and 15 cm in diameter totaled 18 pieces. The results of the modulus of rupture test with variations in silica fume content of 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; and 25%, resulting in a value of 5.91 MPa; 6.35 MPa; 6.59 MPa; 7.30 MPa; 6.94 MPa; and 6.47 MPa. Split tensile strength test results with variations in silica fume content of 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; and 25%, resulting in a value of 3.82 MPa; 4.12 MPa; 4.34 MPa; 4.78 MPa; 4.43 MPa and 4.24 MPa. The addition of silica fume to RPC concrete increases the value of the modulus of rupture and split tensile strength than to using silica fume due to the very fine grain size of silica fume with a grain size of about 0.1 – 0.2  $\mu\text{m}$  which results in RPC concrete being more compact and homogeneous better than ordinary concrete so that the strength of the concrete material will increase.

**Keywords:** modulus of rupture, reactive powder concrete (RPC), silica fume, split tensile strength.

## Abstrak

Reactive powder concrete (RPC) merupakan beton yang pada campurannya meniadakan penggunaan agregat kasar. Modulus of rupture dan kuat tarik belah beton adalah salah satu parameter yang digunakan guna mengetahui mutu beton. Modulus of rupture merupakan nilai kuat tarik tertinggi yang terdapat pada bagian bawah dari sebuah sampel balok. Kuat tarik belah adalah nilai kuat tarik tidak langsung yang merefleksikan nilai kuat tarik yang sebenarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi nilai modulus of rupture dan kuat tarik belah pada beton RPC dengan penambahan variasi kadar silica fume sebesar 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan melakukan pengujian modulus of rupture dan pengujian kuat tarik belah di laboratorium dan metode teoritis menggunakan analisis regresi. Pengujian modulus of rupture dilakukan menggunakan mesin UTM (universal testing machine) dengan benda uji berbentuk balok dengan dimensi panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm berjumlah 18 buah, sedangkan pengujian kuat tarik belah menggunakan mesin CTM (compression testing machine) dengan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi tinggi 30 cm dan diameter 15 cm berjumlah 18 buah. Hasil uji modulus of rupture dengan variasi kadar silica fume sebesar 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%, menghasilkan nilai sebesar 5,91 MPa; 6,35 MPa; 6,59 MPa; 7,30 MPa; 6,94 MPa; dan 6,47 MPa. Hasil uji kuat tarik belah dengan variasi kadar silica fume sebesar 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%, menghasilkan nilai 3,82 MPa; 4,12 MPa; 4,34 MPa; 4,78 MPa; 4,43 MPa dan 4,24 MPa. Penambahan silica fume pada beton RPC meningkatkan nilai modulus of rupture dan kuat tarik belah daripada tanpa menggunakan silica fume disebabkan ukuran butiran silica fume yang sangat halus dengan ukuran butiran sekitar 0,1 – 0,2  $\mu\text{m}$  yang mengakibatkan beton RPC tersusun secara kompak dan homogen lebih baik dari beton biasa sehingga menghasilkan kekuatan material beton akan meningkat.

**Kata Kunci :** kuat tarik belah, reactive powder concrete (RPC), silica fume, modulus of rupture.

## PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman, kemajuan teknologi dan infrastruktur di dunia berkembang pesat. Infrastruktur merupakan sarana roda penggerak ekonomi bagi setiap negara. Pada setiap pembangunan infrastruktur dituntut untuk hasil kerja konstruksi yang lebih baik, lebih efisien, serta mampu menyelesaikan kendala-kendala yang terjadi, seperti untuk bangunan bertingkat, jalan raya, maupun bangunan air. Oleh karena itu perlu dikembangkannya penelitian inovasi beton untuk memenuhi tuntutan kebutuhan tersebut.

Perancangan beton harus memperhatikan kriteria-kriteria perancangan yang berlaku dalam standar yang telah ditetapkan. Hal ini dimaksudkan guna menghasilkan beton yang memiliki kualitas dan mutu yang baik, dimana harus memenuhi karakteristik-karakteristik utama beton, yaitu nilai kuat desak tinggi, tingkat pengerjaan yang mudah (*workability*), tahan lama (*durability*), biaya murah (*aspect economic cost*), dan tahan aus serta ramah lingkungan. Perkembangan terkini dalam teknologi beton adalah beton bubuk reaktif atau *reactive powder concrete* (RPC). *Reactive powder concrete* yang selanjutnya disebut sebagai RPC menjadi solusi berbagai masalah yang terdapat pada dunia konstruksi saat ini dan diketahui memiliki performa lebih baik bila dibandingkan dengan beton mutu tinggi (Cwirzen dkk, 2008). Beberapa penelitian mengenai RPC meniadakan penggunaan agregat kasar dan komponen penyusunnya berupa partikel halus berukuran nanometer seperti air, semen, *silica fume* (Peng dkk., 2015), pasir kuarsa (Mostofinejad, 2016), *steel fibers* (Raza dkk., 2021), dan *superplasticizer* (Colleparadi dkk., 1999). Penghilangan agregat kasar pada beton RPC adalah hal yang paling vital guna mencapai homogenitas antara komponen-komponen penyusun beton RPC.

*Silica fume* adalah salah satu bahan yang ditambahkan pada beton RPC. Menurut SNI 2847-2019 yang merujuk pada ASTM C1240, *silica fume* adalah material *pozzolanic* yang sangat baik, sebagian besar komponen penyusun *silica fume* terdiri dari silika *amorfo* yang diperoleh dari *alloy* dari *ferrosilicon* atau danur tinggi sebagai produk sampingan unsur *silicon*. *Silica fume* memiliki ukuran butiran yang sangat halus yang berukuran sekitar 0,1  $\mu\text{m}$  – 1  $\mu\text{m}$ , sehingga penambahan *silica fume* membuat komponen penyusun beton dapat tersusun secara kompak dan homogen, jauh lebih baik bila dibandingkan dengan beton biasa maupun dengan beton berkinerja tinggi (*high performance concrete*). (Sutandi & Kushartomo, 2019)

Menurut Dewi (2016), penambahan *silica fume* pada komposisi penyusun beton sebagai pengganti semen dengan kadar 15% merupakan kadar optimum untuk mencapai kuat tarik belah beton sebesar 41,52 kg/cm<sup>2</sup> pada usia beton mencapai 28 hari. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh Kushartomo dkk (2020) menyatakan bahwa semakin besar ukuran butiran agregat halus dan semakin tinggi nilai perbandingan air terhadap semen maka nilai *modulus of rupture* akan semakin mengecil, hal ini dijadikan dasar pada penelitian ini bahwa penambahan *silica fume* pada beton RPC akan meningkatkan nilai *modulus of rupture* karena ukuran butirannya yang lebih halus dibandingkan dengan semen.

## METODE

Tahap-tahap yang dilalui pada penelitian ini adalah :

1. Tahap 1  
Melakukan pendalaman materi dengan memperbanyak studi literatur dengan referensi dari buku, internet, jurnal penelitian, maupun skripsi yang memiliki kaitan dengan penelitian yang akan dilaksanakan.
2. Tahap 2  
Menyiapkan bahan-bahan dan alat-alat yang dibutuhkan sesuai dengan yang dibutuhkan pada saat melakukan penelitian.
3. Tahap 3
  - a. Mengumpulkan Data Penelitian  
Data harus mengikuti pedoman yang telah dipilih dalam metode penelitian
  - b. Pengujian Bahan Dasar Penyusun Beton  
Pengujian ini mencakup pengujian agregat halus, dan bahan tambah beton.
4. Tahap 4  
Membuat trial mix design RPC dengan beberapa variasi dengan perbedaan pada jumlah kadar *silica fume* yang digunakan. Hasil *mix design* yang telah memenuhi syarat standar maka dilanjutkan dengan pencampuran beton (*mixing concrete*) yang selanjutnya menjadi benda uji pengujian *modulus of rupture* dan kuat tarik belah seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

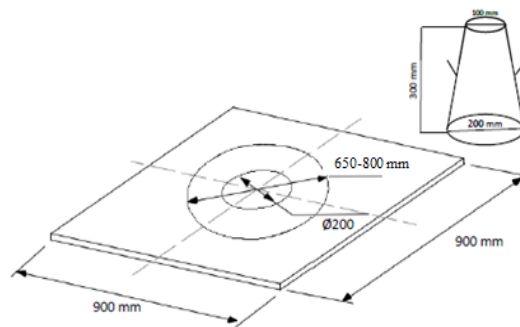
Tabel 1. Rancang Campur Beton RPC.

Nama Benda uji	Pasir Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir Kuarsa (kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Silica fume (kg/m <sup>3</sup> )	Steel fiber (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer (lt/m <sup>3</sup> )	Air (lt/m <sup>3</sup> )
RPC-SF0%	1045	370,5	800	0	11,5	7,7	152
RPC-SF5%	1045	370,5	760	40	11,5	7,7	152
RPC-SF10%	1045	370,5	720	80	11,5	7,7	152
RPC-SF15%	1045	370,5	680	120	11,5	7,7	152
RPC-SF20%	1045	370,5	640	160	11,5	7,7	152
RPC-SF25%	1045	370,5	600	200	11,5	7,7	152

5. Tahap 5

a Pengujian Beton Segar

Pengujian *slump flow* (ASTM C1611) merupakan pengujian untuk mengukur kemampuan campuran beton dalam mengisi (mengalir). Pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan *slump cone* di tengah pelat *flow table* dengan bukaan besar menghadap ke bawah. Hasil dari pengujian *slump flow* adalah didapatkan diameter dari rata-rata diameter yang diambil dari dua arah. Perbedaan antara dua diameter hasil pengujian *slump flow* menandakan tidak meratanya tingkat permukaan. Pengujian *slump flow* menggunakan alat *slump cone* dan *flow table* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



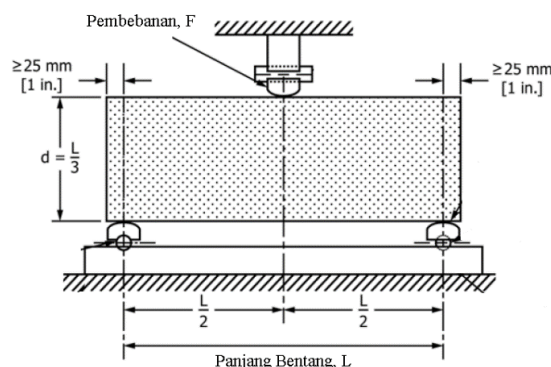
Gambar 1. Alat pengujian *Slump Flow*

b Pengujian Beton Keras

Adapun pengujian beton keras antara lain pengujian *modulus of rupture* dan kuat tarik belah.

i. Pengujian *Modulus of Rupture*

Pengujian *modulus of rupture* bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya nilai kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok uji (Neville, 1997). Pengujian yang dilakukan mengacu pada ASTM C293. Benda uji yang dipakai berupa balok beton dengan ukuran 40 x 10 x 10 cm<sup>3</sup>, dengan panjang bentang efektif yang digunakan 30 cm. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari dengan jumlah 3 buah untuk setiap variasi penambahan kadar *silica fume* menggunakan mesin *universal testing machine* (UTM). Data yang didapat dari pengujian kemudian akan dianalisis dan dibandingkan antara beton dengan variasi penambahan *silica fume* dan beton tanpa penambahan *silica fume*. Sketsa pengujian *modulus of rupture* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sketsa pengujian *modulus of rupture*

Besarnya *modulus of rupture* dapat dihitung berdasarkan pada Persamaan 1.

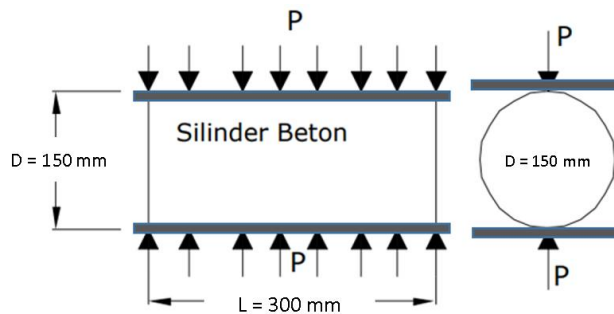
$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- R = Modulus of rupture (MPa)
- P = Beban uji maksimum (N)
- L = Panjang bentang benda uji (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- d = Tinggi benda uji (mm)

ii. Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan menggunakan CTM (*compression testing machine*) setelah beton *setting* selama 28 hari, dengan posisi silinder beton yang direbahkan. Pengujian yang dilakukan berpedoman pada SNI 2491:2014. Benda uji yang dipakai berupa silinder beton dengan ukuran tinggi 30 cm, dan lebar 15 cm. Salah satu usaha untuk mencegah timbulnya desakan lokal yang besar pada garis pembebanan pada sampel adalah menggunakan plat strip dari bahan *hardboard* atau *plywood* yang dipasang diantara plat beban dan sampel, hal ini dilakukan agar beban dapat terdistribusi lebih seragam sepanjang sampel. Gaya yang bekerja pada sepanjang kedua sisi sampel akan disebarkan seluas selimut silindernya. Pembebanan dinaikkan berangsur-angsur sehingga tercapai nilai maksimum dan silinder pecah terbelah oleh gaya tarik horisontal sepanjang silinder, pada kondisi ini, gaya tarik horizontal timbul akibat terbangunnya perilaku *biaxial stress* oleh gaya desak vertikalnya. Sketsa pengujian *modulus of rupture* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa pengujian kuat tarik belah

Besarnya *modulus of rupture* dapat dihitung berdasarkan pada Persamaan 2.

$$f'_t = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

- $f'_t$  = Kuat tarik belah beton (MPa)
- P = Beban uji maksimum (N)
- L = Panjang benda uji (mm)
- D = Diameter benda uji (mm)

6. Tahap 6

Melakukan analisis data hasil dari pengujian untuk mendapatkan kesimpulan atas nilai yang diperoleh serta hubungan antara variabel pada penelitian.

7. Tahap 7

Menarik kesimpulan penelitian melalui hasil data yang sudah diolah dan dianalisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Modulus of Rupture Beton

Data hasil uji *modulus of rupture* secara lengkap disajikan pada Tabel 2.

Contoh perhitungan *modulus of rupture reactive powder concrete* sampel I variasi kadar *silica fume* 0% dapat dilihat seperti dibawah ini.

Data :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (b)} &= 10 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi (d)} &= 10 \text{ cm} \\
 \text{Panjang (L)} &= 40 \text{ cm} \\
 \text{Volume (V)} &= b \times d \times L \\
 &= 10 \times 10 \times 40 \\
 &= 400 \text{ cm}^3 \\
 \text{Panjang Efektif (Lef)} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Gaya (P)} &= 1440 \text{ kgf} = 1440 \text{ kgf} = 1440 \times 9,80665 = 14121,58 \text{ N} \\
 &= 1440 \times 9,80665 \text{ N} \\
 &= 141121,58 \text{ N} \\
 3 \times (P) &= 42364,73 \text{ N}
 \end{aligned}$$

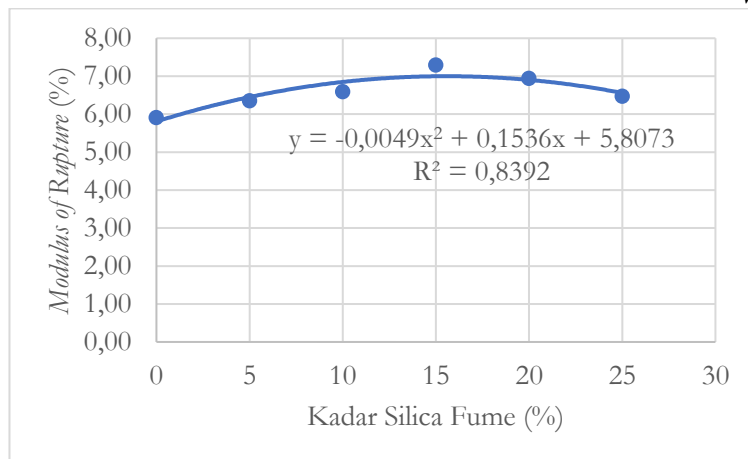
Maka untuk menghitung nilai kuat tarik belah dapat digunakan persamaan (1) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus of Rupture (R)} &= \frac{3PL}{2bd^2} \\
 &= \frac{42364,73 \times 300}{2 \times 100 \times 100^2} \\
 &= 6,35 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Pengujian *Modulus of Rupture Reactive Powder Concrete*

No	Benda Uji	Kode	D	B	L	P	R	<i>R</i> Rerata (Mpa)	Kenaikan %
			(mm )	(mm )	(mm )	(N)	(Mpa )		
1	RPC-SF-0-MR	I	100	100	400	14121.58	6.35	5.91	
		II	100	100	400	13140.91	5.91		
		III	100	100	400	12160.25	5.47		
2	RPC-SF-5-MR	I	100	100	400	15886.77	7.15	6.35	7.46
		II	100	100	400	13729.31	6.18		
		III	100	100	400	12748.65	5.74		
3	RPC-SF-10-MR	I	100	100	400	15298.37	6.88	6.59	11.44
		II	100	100	400	13729.31	6.18		
		III	100	100	400	14906.11	6.71		
4	RPC-SF-15-MR	I	100	100	400	16082.91	7.24	7.30	23.38
		II	100	100	400	16867.44	7.59		
		III	100	100	400	15690.64	7.06		
5	RPC-SF-20-MR	I	100	100	400	15494.51	6.97	6.94	17.41
		II	100	100	400	15102.24	6.80		
		III	100	100	400	15690.64	7.06		
6	RPC-SF-25-MR	I	100	100	400	14317.71	6.44	6.47	9.45
		II	100	100	400	13729.31	6.18		
		III	100	100	400	15102.24	6.80		

Grafik yang menunjukkan hubungan variasi kadar *silica fume* pada beton RPC terhadap *modulus of rupture* disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan variasi kadar *silica fume* terhadap *modulus of rupture*

Penambahan variasi *silica fume* memberikan peningkatan pada *modulus of rupture* beton RPC dengan nilai *modulus of rupture* tertinggi terjadi pada variasi kadar *silica fume* 15% sebesar 7,30 MPa. Nilai *modulus of rupture* beton RPC semakin meningkat mulai dari kadar *silica fume* 5% hingga kadar *silica fume* 15%, kemudian turun kembali namun tetap lebih tinggi dari *modulus of rupture* beton RPC kadar *silica fume* 0%, nilai *modulus of rupture* beton RPC tanpa menggunakan *silica fume* tercatat sebesar 5,91 MPa. Hal ini sesuai dengan penelitian Kushartomo dkk (2020) bahwa semakin besar ukuran butiran agregat halus dan semakin tinggi nilai perbandingan air terhadap semen maka nilai *modulus of rupture* akan semakin mengecil, atau dengan kata lain semakin kecil butiran agregat halus dimana material yang dipakai pada penelitian ini adalah *silica fume* yang memiliki ukuran lebih butiran lebih kecil dari semen maka nilai *modulus of rupture* akan meningkat. Pada penggantian semen dengan *silica fume* dan variasi kadar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% beton RPC mengalami kenaikan nilai *modulus of rupture* beton dengan nilai berturut-turut sebesar 6,35 MPa; 6,59 MPa; 7,30 MPa; 6,94 MPa; dan 6,47 MPa.

### Kuat Tarik Belah Beton

Data hasil uji kuat tarik belah secara lengkap disajikan pada Tabel 3.

Contoh perhitungan kuat tarik belah *reactive powder concrete* sampel I variasi kadar *silica fume* 0% dapat dilihat seperti dibawah ini.

Data :

Panjang (L) = 30 cm

Diameter (D) = 15 cm

Luasan (A) =  $\frac{1}{4} \pi d^2$

$$= \frac{1}{4} \pi 15^2$$

$$= 176,79 \text{ cm}^2$$

Volume (V) =  $A \times L$

$$= 176,79 \times 30$$

$$= 5303,57 \text{ cm}^3$$

Beban Uji Maksimum (P) = 245000 N

Maka untuk menghitung nilai kuat tarik belah dapat digunakan persamaan (2) sebagai berikut.

Kuat Tarik Belah ( $F_{ct}$ ) =  $\frac{2P}{\pi LD}$

$$= \frac{490000}{\pi \times 30 \times 15 \times 100}$$

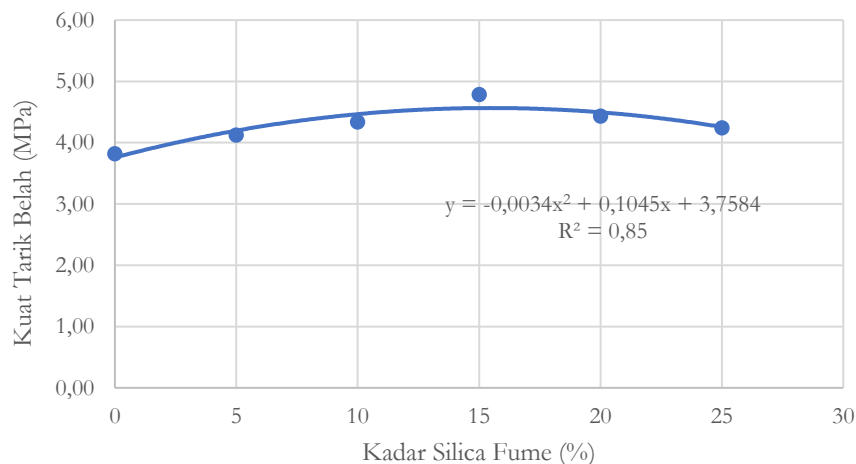
$$= 3,46 \text{ Mpa}$$



Tabel 3. Hasil pengujian kuat tarik belah *reactive powder concrete*

No	Benda Uji	Kode	D	L	P	$f_{ct}$	$f_{ct}$ Rata- rata	Kenaika
			(mm)	(mm)	(N)	(Mpa)	(Mpa)	n %
1	RPC-SF-0-TB	I	150	300	245000	3.46	3.82	-
		II	150	300	285000	4.03		
		III	150	300	280000	3.96		
2	RPC-SF-5-TB	I	150	300	280000	3.96	4.12	8.02
		II	150	300	315000	4.45		
		III	150	300	280000	3.96		
3	RPC-SF-10-TB	I	150	300	310000	4.38	4.34	13.58
		II	150	300	280000	3.96		
		III	150	300	330000	4.67		
4	RPC-SF-15-TB	I	150	300	320000	4.53	4.78	25.31
		II	150	300	355000	5.02		
		III	150	300	340000	4.81		
5	RPC-SF-20-TB	I	150	300	340000	4.81	4.43	16.05
		II	150	300	290000	4.10		
		III	150	300	310000	4.38		
6	RPC-SF-25-TB	I	150	300	320000	4.53	4.24	11.11
		II	150	300	310000	4.38		
		III	150	300	270000	3.82		

Grafik hubungan variasi kadar *silica fume* pada beton RPC terhadap kuat tarik belah disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi Kadar *Silica Fume* terhadap Nilai Kuat Tarik Belah

Penambahan variasi *silica fume* memberikan peningkatan pada kuat tarik belah beton RPC dengan kenaikan kuat tarik belah tertinggi terjadi pada variasi kadar *silica fume* 15% sebesar 4,78 MPa, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Dewi (2016) dimana penambahan *silica fume* pada komposisi penyusun beton sebagai pengganti semen dengan kadar 15% merupakan kadar optimum untuk mencapai nilai kuat tarik belah beton maksimum. Nilai kuat tarik belah beton RPC semakin meningkat mulai dari kadar *silica fume* 5% hingga kadar *Silica Fume* 15%, kemudian turun kembali namun tetap lebih tinggi dari kuat tarik belah beton RPC kadar *silica fume* 0%. Nilai kuat tarik belah beton RPC tanpa menggunakan *silica fume* tercatat sebesar 3,82 MPa. Pada penggantian semen dengan *silica fume* dan variasi kadar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% beton RPC mengalami kenaikan nilai kuat tarik belah beton dengan nilai berturut-turut 4,12 MPa; 4,34 MPa; 4,78 MPa; 4,43 MPa dan 4,24 MPa.

## SIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian dan perhitungan data yang telah dilakukan pada beton RPC dengan penambahan variasi kadar *silica fume* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan variasi kadar *silica fume* terhadap berat semen meningkatkan nilai *modulus of rupture* pada beton RPC. Nilai *modulus of rupture* beton RPC dengan variasi kadar 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25% adalah 5,91 MPa; 6,35 MPa; 6,59 MPa; 7,30 MPa; 6,94 MPa; dan 6,47 MPa.
2. Penambahan variasi kadar *silica fume* terhadap berat semen meningkatkan nilai kuat tarik belah pada beton RPC. Nilai kuat tarik belah beton RPC dengan variasi kadar 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25% adalah 3,82 MPa; 4,12 MPa; 4,34 MPa; 4,78 MPa; 4,43 MPa dan 4,24 MPa.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapka pada bapak ibu dosen serta orang tua dan sahabat-sahabat penulis yang telah mendukung pada penulisan jurnal ini dari awal hingga selesai tepat pada waktunya.

## REFERENSI

- Anonim, 2014, “SNI 2491:2014 tentang Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder”, Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim, 2014, “ASTM C1611 Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete”
- Anonim, 2015, “ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used In Cementitious Mixtures”
- Anonim, 2016, “ASTM C293 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center Point-Loading)”
- Anonim, 2019, “SNI 03-2847-2019, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung”, Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Colleparidi, S.I.L.V.I.A., Coppola, R., Troli, R.O.B.E.R.T.O. and Zaffaroni, P.A.S.Q.U.A.L.E., 1999, May. Influence of the superplasticizer type on the compressive strength of reactive powder concrete for precast structures. In *Congress International BIBM, Venezia* (pp. 25-30).
- Cwirzen, A., Penttala, V. and Vornanen, C., 2008. Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC. *Cement and Concrete Research*, 38(10), pp.1217-1226.
- Dewi, S. U., 2016, “Kajian Kuat Tarik Belah pada Perencanaan Beton dengan Additive Silica Fume Menggunakan Metoda American Concrete Institute (Agregat Halus Gunung Sugih dan Agregat Kasar Tanjungan Lampung)”, *Jurnal Program Studi Teknik Sipil . TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi)*. Vol. 5 No. 2.
- Kushartomo, W., Linggarsi, D., Sutandi, A., Studi, P., Teknik, S., Teknik, F., & Tarumanagara, U., 2020, “Efek Ukuran Butiran Maksimum terhadap Nilai Modulus of Rupture Reactive Powder Concrete”, Vol. 26 No. 1, pp. 1–8.
- Mostofinejad, D., Nikoo, M.R. and Hosseini, S.A., 2016. Determination of optimized mix design and curing conditions of reactive powder concrete (RPC). *Construction and Building Materials*, 123, pp.754-767.
- Neville, A. M., 1997, “Properties of Concrete 5<sup>th</sup> Edition” Trans-Atlantic Publications, Inc. Philadelphia.
- Peng, Y., Zhang, J., Liu, J., Ke, J. and Wang, F., 2015. Properties and microstructure of reactive powder concrete having a high content of phosphorous slag powder and silica fume. *Construction and Building Materials*, 101, pp.482-487.
- Raza, S.S., Qureshi, L.A., Ali, B., Raza, A. and Khan, M.M., 2021. Effect of different fibers (steel fibers, glass fibers, and carbon fibers) on mechanical properties of reactive powder concrete. *Structural Concrete*, 22(1), pp.334-346.
- Sutandi, A., & Kushartomo, W., 2019, “Pengaruh Ukuran Butiran Maksimum Terhadap Kuat Tekan Reactive Powder Concrete”, *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*. Vol. 3 No. 1