

# KAJIAN KUAT LENTUR PADA BETON BUBUK REAKTIF DENGAN SILICA FUME 15% DAN VARIASI PASIR KUARSA

Wibowo, Endah Safitri, Bayu Desela Arsanto

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan Surakarta, Jawa Tengah 57126  
Email: [endahsafitri@staff.uns.ac.id](mailto:endahsafitri@staff.uns.ac.id)

## Abstract

High-performance concrete is needed because future developments are required to have tall structures and long spans, so they must have efficient and slender structures. In addition, increasingly limited land has an impact on development. Reactive powder concrete is a solution to these problems. This concrete has a high quality that can make the dimensions more efficient. This research is intended to find out the effect of using silica fume 15% of the binder mass and varying quartz sand content on the flexural strength value of reactive powder concrete. This research used steel fiber 17.5% and superplasticizer 1.9% by weight of the binder and was conducted using the experimental method. The test specimens used in the flexural strength testing were 10x10x40 cm dimension beams with a total of 21 test specimens and using a Universal Testing Machine testing tool. Testing was carried out at the age of 28 days of concrete based on SNI 03-2834-2000. The results of this test obtained the value of flexural strength of reactive powder concrete at variations in quartz sand content of 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% and 40% worth 4.7804 MPa; 5.3353 MPa; 6.2002 MPa; 6.7901 MPa; 7.0351 MPa; 6.8350 MPa; and 6.2749 MPa.

**Keywords:** flexural strength, quartz sand, reactive powder concrete, silica fume.

## Abstrak

Beton performa tinggi dibutuhkan karena pembangunan di masa depan dituntut untuk memiliki struktur yang tinggi dan bentang yang jenjang, sehingga harus memiliki struktur yang efisien dan ramping. Selain itu lahan yang semakin terbatas berdampak juga pada pembangunan. Beton bubuk reaktif merupakan solusi untuk menghadapi permasalahan tersebut. Beton ini memiliki performa tinggi sehingga dapat mengefisienkan dimensi. Riset ini dimaksudkan untuk mencari tahu pengaruh penggunaan *silica fume* 15% dari massa binder dan variasi kadar pasir kuarsa terhadap nilai kuat lentur beton bubuk reaktif. Riset ini menggunakan bahan tambah berupa *steel fiber* 17,5% dan *superplasticizer* 1,9% dari berat binder dan dikerjakan menggunakan metode eksperimental. Benda uji yang digunakan pada pengujian kuat lentur merupakan balok dimensi 10x10x40 cm dengan sejumlah 21 benda uji dan menggunakan alat pengujian *Universal Testing Machine*. Pengujian dilakukan saat umur beton 28 hari berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil pengujian ini diperoleh nilai kuat lentur beton bubuk reaktif pada variasi kadar pasir kuarsa 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% senilai 4,7804 MPa; 5,3353 MPa; 6,2002 MPa; 6,7901 MPa; 7,0351 MPa; 6,8350 MPa; dan 6,2749 MPa.

**Kata Kunci :** beton bubuk reaktif, kuat lentur, pasir kuarsa, *silica fume*.

## PENDAHULUAN

Ditambah referensi steel fiber, Kebutuhan pasar saat ini membutuhkan material performa tinggi berupa beton yang mempunyai kualitas yang lebih baik dikarenakan tuntutan pembangunan infrastruktur yang semakin kompleks sehingga harus memiliki struktur yang lebih kuat dan efisien. Selain memiliki kuat tekan tinggi, beton juga harus memiliki kuat lentur dan kuat tarik yang tinggi. Hal tersebut merupakan kelemahan yang ada pada beton konvensional. Selain itu, terbatasnya lahan karena pembangunan yang tidak merata juga menjadi permasalahan tersendiri. Salah satu inovasi teknologi material beton yang saat ini sedang dikembangkan adalah beton bubuk reaktif atau *Reactive Powder Concrete* (RPC). Salah satu keunggulan Beton RPC yaitu memiliki kualitas yang tinggi dibandingkan dengan beton konvensional sehingga dapat mengefisienkan volume dan dimensi beton yang merupakan kelemahan di beton konvensional.

RPC adalah terobosan terbaru teknologi beton yang ditemukan oleh P. Richard dan M. Cheyrezy pada tahun 1994 di Perancis. Beton ini menghilangkan agregat kasar dan menggantikannya dengan agregat halus yang bertujuan agar tercapainya homogenitas pada campuran yang berakibat pada diperolehnya beton yang memiliki impermeabilitas dan mutu tinggi. Kelebihan dari RPC dibandingkan beton normal dan beton berserat lainnya adalah daya tahan,

keuletan, dan kekuatan yang lebih tinggi (Sarika S & Dr. Elson John, 2015). Kelebihan tersebut menjadikan RPC dapat digunakan dalam banyak aplikasi konstruksi seperti bangunan tinggi, struktur jembatan, struktur kelautan, bangunan pembuangan limbah, dan aplikasi pracetak (Mayhoub et al., 2021).

Komposisi beton pada RPC ini antara lain terdiri dari pasir alam (Alifyya, 2021), pasir kuarsa (Abadi & Kazemi, 2014), semen OPC tipe 1 (Raza et al., 2020), air (Noaman, 2021), *silica fume* (Kushartomo et al., 2016), *superplasticizer* (Mostofinejad et al., 2016), dan *steel fibers* (Wibowo, Santoso, et al., 2022). Penggunaan faktor air semen (FAS) yang rendah pada RPC dapat mengurangi jumlah pori-pori sehingga impermeabilitas meningkat dan dapat menghasilkan durabilitas dan kekuatan beton yang tinggi (Alkhalay, 2017). Kadar bahan tambah *silica fume* yang tinggi dalam RPC berdampak meningkatkan workabilitas campuran, menurunkan suhu saat proses hidrasi, dan membetulkan struktur mikro pasta beton yang dapat meningkatkan kuat desak (Kushartomo & Christianto, 2015). Penambahan *silica fume* pada komposisi penyusun RPC dengan kadar 15% dari berat binder merupakan nilai tertinggi *modulus of rupture* dengan nilai sebesar 7,30 MPa pada usia beton 28 hari (Wibowo, Basuki, et al., 2022). Pasir kuarsa berperan dalam meningkatkan nilai kuat tarik, kuat tekan, dan kuat lentur pada beton dikarenakan dapat memperbaiki homogenitas dalam RPC. Penggunaan variasi kadar pasir kuarsa sebesar 35% dari berat seluruh agregat pada beton RPC juga dapat memaksimalkan kuat tekan beton sebesar 50,54% saat beton berumur 28 hari dibandingkan dengan kadar pasir kuarsa 20% (Ali Qureshi et al., 2017). *Superplasticizer* berfungsi untuk meningkatkan durabilitas pada RPC karena beton ini memiliki nilai faktor air semen (FAS) yang rendah sehingga jika tanpa *superplasticizer* *workabilitas* RPC akan menurun. *Superplasticizer* juga dapat meningkatkan homogenitas campuran pada beton RP dikarenakan kemampuan *flowability* pada beton meningkat sehingga campuran beton dapat tercampur sempurna (Ahmad et al., 2015). Peningkatan sifat mekanik beton juga dapat dicapai dengan penggunaan serat baja. Penggunaan serat baja berpengaruh dalam meningkatkan nilai kuat lentur RPC 350% lebih besar dibandingkan RPC tanpa serat baja. Sedangkan peningkatan kuat tekannya meningkat sebesar 10% dibandingkan dengan RPC tanpa serat (Kushartomo & Christianto, 2015).

Penambahan bahan tambah dan mengganti penggunaan agregat kasar dengan pasir kuarsa sangat berpengaruh terhadap kekuatan lentur beton. Kuat lentur merupakan parameter mekanis sebuah struktur. Kuat lentur adalah nilai kuat tarik secara tidak langsung dari balok beton diatas dua perletakkan untuk menahan gaya yang arahnya tegak lurus sumbu benda uji hingga benda uji tersebut retak atau biasa didefinisikan momen lentur dibagi dengan momen inersia balok. Penelitian ini memperoleh nilai kuat lentur dengan digunakan metode *third point loading*. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan menguji balok polos mengacu pada (ASTM C31/C31M) berdimensi panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm. Balok ini dibebani pada dua titik masing-masing 5 cm dari bagian tengah bentang (ASTM C78). Pengujian ini berguna untuk memodelkan gaya-gaya luar yang bekerja terhadap struktur yang menyebabkan elemen struktur mengalami perubahan bentuk. Apabila gaya luar yang di- kerjakan terhadap struktur terus meningkat, maka dapat mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang sampai batas maksimalnya yang dapat menjadikan balok tersebut runtuh (Dady & et al, 2015). Tujuan pada penelitian ini mengkaji pengaruh penggunaan komposisi *silica fume* 15% dari berat binder dan variasi kadar pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% dari berat agregat terhadap nilai kuat lentur pada RPC.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada riset ini adalah eksperimental. Riset ini diawali dengan menguji agregat halus. Setelah pengujian agregat memenuhi standar, selanjutnya membuat benda uji, melakukan *slump flow test* dan melakukan *curing* pada beton. *Curing* beton dilakukan dengan cara merendam beton umur 24 jam didalam kolam air agar penguapan air pada beton dapat dikontrol. *Curing* beton dilakukan selama 21 hari. Pengujian beton keras yang berupa uji kuat lentur dikerjakan saat umur beton 28 hari. **Gambar 1** menunjukkan benda uji yang digunakan adalah balok beton berdimensi 40 cm x 10 cm x 10 cm yang mengacu pada ASTM C31/C31M.



Gambar 1. Benda uji pengujian kuat lentur

Banyaknya benda uji yang digunakan sebanyak 3 benda uji pada setiap variasi pasir kuarsa. Berikut kode dan jumlah benda uji yang digunakan tertera pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kebutuhan benda uji kuat lentur

No.	Kadar <i>Silica Fume</i> (%)	Kadar Pasir Kuarsa (%)	Kode benda uji	Umur (hari)	Benda Uji
1	15%	0	RPC-LTS-PK0	28	3
2		15	RPC-LTS-PK15	28	3
3		20	RPC-LTS-PK20	28	3
4		25	RPC-LTS-PK25	28	3
5		30	RPC-LTS-PK30	28	3
6		35	RPC-LTS-PK35	28	3
7		40	RPC-LTS-PK40	28	3
Jumlah					21

### Mix Design Reactive Powder Concrete

*Mix design Reactive Powder Concrete* belum memiliki standar yang pasti dalam perancangan campuran beton. Oleh karena itu standar riset ini mengacu pada standar RPC yang telah dilakukan sebelumnya oleh P. Richard dan M. Cheyrezy pada tahun 1994 dengan kadar *silica fume* 15% dari berat total binder. Faktor air semen yang digunakan sebesar 0,19, semen yang digunakan OPC tipe 1, superplasticizer yang digunakan ViscoCrete 1003 dengan kadar 0,019 dari berat binder, dan *steel fibers* yang digunakan berbentuk *hooked* dari Dramix 3D dengan diameter 0,75 mm, Panjang 60 mm, aspek rasio 80 sebanyak 0,175 dari berat total binder. *Mix design* yang digunakan pada RPC tertera pada **Tabel 2**.

Tabel 2. *Mix design Reactive Powder Concrete*

Kode Benda Uji	Pasir Alam (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 Fibers (kg/m <sup>3</sup> )	SP (kg/m <sup>3</sup> )	Air (kg/m <sup>3</sup> )
RPC-PK-0%	1499,06	0	680	120	11,6	7,79	152
RPC-PK-15%	1274,20	218,85	680	120	11,6	7,79	152
RPC-PK-20%	1199,25	291,80	680	120	11,6	7,79	152
RPC-PK-25%	1124,29	364,75	680	120	11,6	7,79	152
RPC-PK-30%	1049,34	437,70	680	120	11,6	7,79	152
RPC-PK-35%	974,38	510,65	680	120	11,6	7,79	152
RPC-PK-40%	899,60	583,60	680	120	11,6	7,79	152

### Pengujian Material Penyusun RPC

Sebelum melakukan *mixing* benda uji, material penyusun beton harus diuji dahulu agar memenuhi standar. Pengujian material agregat halus pada beton RPC berdasarkan ASTM dan SNI untuk pengujian kandungan kadar lumpur, kandungan zat organik, pengujian *specific gravity*, pengujian gradasi, dan pengujian modulus kehalusan. Pengujian bahan penyusun beton yang lain yaitu *silica fume* dikerjakan dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

### Pengujian Slump Flow RPC

Pengujian *slump flow test* bertujuan untuk mengetahui *workabilitas* atau sejauh mana beton RPC mudah dikerjakan di lapangan. Standar *slump flow* mengacu pada ASTM C1611. Slump flow test menggunakan kerucut abrams yang diletakkan diatas papan alir. Beton segar kemudian dituang diatas kerucut abrams sampai terisi penuh kemudian ditarik keatas secara perlahan untuk melihat diameter maksimum beton segar dan waktu yang dibutuhkan untuk

menjangkau diameter maksimum tersebut. Setelah melakukan pengujian, hasilnya dicatat dan dianalisis menggunakan Microsoft Excel.

### Pengujian Kuat Lentur Beton RPC

Pengujian kuat lentur dikerjakan pada saat beton RPC berumur 28 hari. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan menguji balok polos mengacu pada (ASTMC31/C31M) berdimensi panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm. Balok ini dibebani pada dua titik masing-masing 5 cm dari bagian tengah bentang atau menggunakan pengujian third point loading (ASTM C78) karena dicari hasil keretakan lentur yang sempurna tanpa adanya gaya geser. Pengujian kuat lentur dihitung menggunakan Persamaan [1] dan Persamaan [2]

$$\sigma_f = \frac{Mx \times Y}{I} \dots\dots\dots [1]$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \dots\dots\dots [2]$$

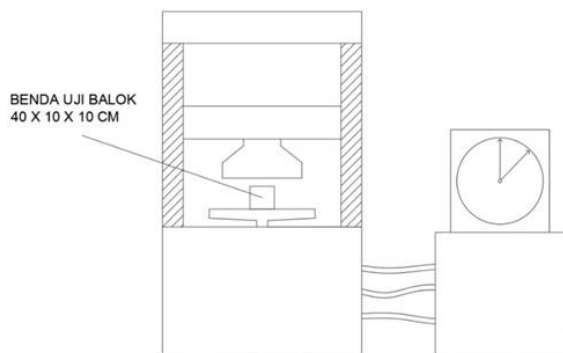
keterangan:

$\sigma_f$  = Kuat lentur (N/mm<sup>2</sup>)

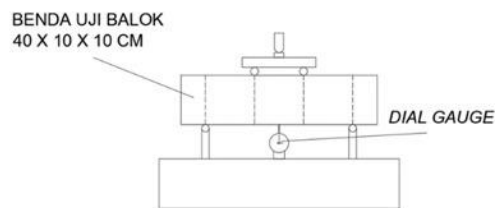
$Mx$  = Momen lentur =  $\frac{1}{6} PL$  (N.mm)

$Y$  = Jarak ke sumbu netral (mm)

$I$  = Momen inersia (mm<sup>4</sup>)



Gambar 2. Set up pengujian kuat lentur



Gambar 3. Set up benda uji

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Parameter pengujian agregat halus yang diuji pada riset ini yaitu berupa uji kandungan kadar lumpur, kandungan zat organik, pengujian *specific gravity*, pengujian gradasi, dan pengujian modulus kehalusan. Hasil pengujian agregat halus tertera pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Pasir Alam	Pasir Kuarsa	Standar	Kesimpulan
<i>Absorsion</i>	4,71%	4,49%	-	-
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,84	2,74	-	-
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,50	2,44	-	-
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,62	2,55	2,5 – 2,7 SNI 03-2834-2000	Memenuhi Standar
Kandungan Lumpur	2,30%	0,7%	<5% PBI 1971, ASTM C.117	Memenuhi Standar
Kandungan Zat Organik	Kuning Kemerahan	Kuning Muda	PBI 1971, ASTM C.40	Memenuhi Standar
Modulus Kehalusan	2,54	3,43	1,5<MH<3,8 SII-0052-80	Memenuhi Standar

Pengujian *silica fume* berdasarkan ASTM C-1240 kandungan minimal SiO<sub>2</sub> adalah 85%. Pada pengujian *silica fume* yang telah dilakukan menggunakan XRF, kandungan SiO<sub>2</sub> sebesar 85,76%, sehingga pengujian silica fume ini telah memenuhi standar yang disyaratkan.

### Hasil Slump Flow Test RPC

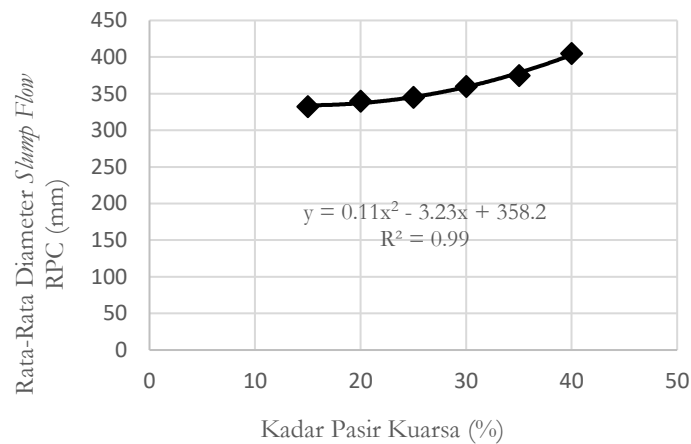
Beton RPC memiliki nilai *slump flow* yang rendah. Nilai *slump flow* yang rendah ini sebanding dengan nilai FAS yang rendah pula. Hasil pengujian *slump flow* pada RPC tertera pada **Tabel 4** dan **Gambar 4**.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Slump Flow* RPC

Kode Benda Uji	Slump Flow	
	Drata-rata (mm)	Trata-rata (detik)
RPC-PK-0%	325,00	7,52
RPC-PK-15%	332,50	7,98
RPC-PK-20%	340,00	8,44
RPC-PK-25%	345,00	8,94

Kode Benda Uji	Slump Flow	
	Drata-rata (mm)	Trata-rata (detik)
RPC-PK-30%	360,00	9,11
RPC-PK-35%	375,00	9,65
RPC-PK-40%	405,00	10,18



Gambar 4. Grafik hubungan antara diameter *slump flow* dengan variasi kadar pasir kuarsa

Berasarkan **Gambar 4** dapat diambil kesimpulan bahwa semakin banyak penambahan substitusi pasir kuarsa pada campuran maka semakin meningkat pula diameter *slump flow* beton. Hal ini dikarenakan nilai absorpsi pasir kuarsa lebih kecil dibanding nilai absorpsi pasir halus sehingga menyebabkan beton menjadi lebih encer dan menyebabkan nilai *slump flow* semakin melebar dan waktu alir yang semakin lambat untuk mencapai diameter maksimum. Semakin banyak presentase substitusi pasir kuarsa pada campuran RPC menyebabkan *workability* beton semakin tinggi.

### Hasil Pengujian Berat Jenis Beton RPC

Beton yang selesai di *curing* dan diangin-anginkan selanjutnya ditimbang beratnya untuk dilaksanakan pengujian berat jenis beton. Tujuan dalam pengujian ini untuk mengetahui berat volume tiap variasi kadar pasir kuarsa beton RPC untuk nantinya dimasukkan kedalam persamaan untuk menghitung nilai kuat lentur beton RPC. Hasil uji berat jenis beton RPC tertera pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis RPC

Nama Benda Uji	Berat volume (gr/cm <sup>3</sup> )
RPC-PK 0%	2,29
RPC-PK 15%	2,27
RPC-PK 20%	2,25
RPC-PK 25%	2,23
RPC-PK 30%	2,23
RPC-PK 35%	2,22
RPC-PK 40%	2,20

Hasil dari pengujian berat jenis beton yang terdapat dalam **Tabel 5** dapat diambil kesimpulan bahwa semakin banyak substitusi pasir kuarsa yang digunakan untuk campuran beton, maka akan semakin kecil pula berat jenisnya. Hal ini dikarenakan berat jenis pasir kuarsa lebih kecil daripada berat jenis pasir halus.

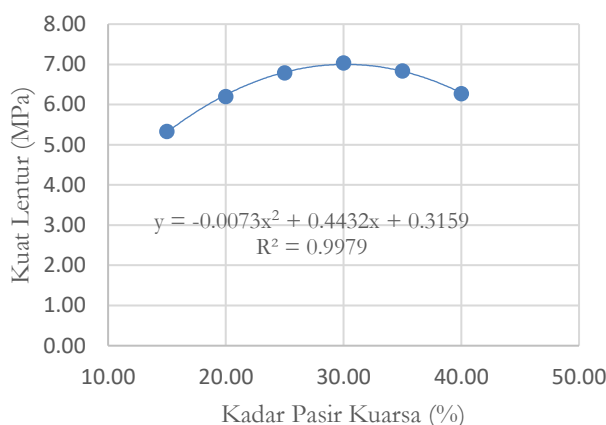
### Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton RPC

Hasil dari pengujian kuat lentur beton RPC dengan kadar *silica fume* 15% dan variasi kadar pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; 40% tertera dalam **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat lentur RPC

Nama Benda Uji	Berat volume (N/mm <sup>3</sup> )	Gaya (N)	Momen Lentur (MPa)
RPC-PK-0%	2,29×10 <sup>-1</sup>	15883	4,7804
RPC-PK-15%	2,27×10 <sup>-1</sup>	17733	5,3353
RPC-PK-20%	2,25×10 <sup>-1</sup>	20617	6,2002
RPC-PK-25%	2,23×10 <sup>-1</sup>	22583	6,7901
RPC-PK-30%	2,23×10 <sup>-1</sup>	23400	7,0351
RPC-PK-35%	2,22×10 <sup>-1</sup>	22733	6,8350
RPC-PK-40%	2,20×10 <sup>-1</sup>	20867	6,2749

Berdasarkan Tabel 6 maka dapat disimpulkan hubungan antara pengaruh penambahan pasir kuarsa terhadap nilai kuat lentur beton RPC seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik hubungan kuat lentur dengan variasi kadar pasir kuarsa

Berdasarkan Gambar 5 terbentuk garis regresi parabola yang nantinya dapat digunakan untuk mencari nilai optimum kuat lentur dan variasi kadar pasir kuarsa. Setelah melakukan diferensial pada persamaan regresi parabola, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa presentase komposisi pasir kuarsa yang paling optimal dari beton bubuk reaktif terhadap kuat lentur yang optimal dicapai pada komposisi 30,36% dari berat agregat dengan nilai kuat lentur beton yang optimum sebesar 7,0428 MPa. Hubungan pengaruh penambahan kadar pasir kuarsa terhadap perubahan nilai kuat lentur tertera pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Perubahan kuat lentur beton RPC

Kode Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Kenaikan (MPa)	Presentase Kenaikan (%)
RPC-PK-0%	4,7804	0,00	0,00
RPC-PK-15%	5,3353	0,55	11,61
RPC-PK-20%	6,2002	1,42	29,70
RPC-PK-25%	6,7901	2,01	42,04
RPC-PK-30%	7,0351	2,25	47,16
RPC-PK-35%	6,8350	2,05	42,98
RPC-PK-40%	6,2749	1,49	31,26

Pembahasan dari analisis data pengujian kuat lentur yang telah dilakukan pada penambahan pasir kuarsa sebesar 15% dari berat total agregat terjadi peningkatan kuat lentur sebesar 0,5549 MPa dari RPC dengan kadar pasir kuarsa 0%. Untuk penambahan pasir kuarsa sebesar 20%, 25%, dan 30% terjadi peningkatan kuat lentur sebesar 1,4198 MPa; 2,0096 MPa; dan 2,2547 MPa dari RPC dengan kadar pasir kuarsa 0%. Selanjutnya titik puncak dicapai pada



nilai optimum regresi linear yaitu dikadar pasir kuarsa sebesar 30,36% dari berat total agregat dengan nilai kuat lentur 7,0428 MPa atau naik 2,2624 MPa dari RPC dengan kadar pasir kuarsa 0%. Akan tetapi pada penambahan pasir kuarsa sebesar 35% dan 40% terjadi penurunan atau lebih kecil dari nilai optimum yaitu 2,0545 MPa dan 1,4945 MPa dari RPC dengan kadar pasir kuarsa 0%.

Hal tersebut terjadi karena pengaruh pasir kuarsa dan serat baja yang ada di dalam beton bubuk reaktif. Serat baja yang melintang pada beton mampu menahan retakan yang diakibatkan adanya beban luar serta menahan tegangan tarik yang nantinya akan disebarkan secara merata ke seluruh elemen beton. Sedangkan ukuran partikel pasir kuarsa yang tidak seragam menyebabkan agregat pada balok beton bubuk reaktif menciptakan efek saling mengunci satu sama lain dan mampu menahan deformasi yang lebih besar dari beton normal sehingga dapat menyebarkan energinya secara merata saat beban diberikan sehingga menghasilkan kuat lentur yang optimum. Akan tetapi pada saat kadar pasir kuarsa 35% dan 40% dari berat seluruh agregat halus beton bubuk reaktif terjadi penurunan nilai kuat lentur dikarenakan oleh kelebihan pasir kuarsa yang disubstitusikan ke agregat halus sehingga menyebabkan adukan mengalami kelebihan air bebas di permukaan sehingga dapat memengaruhi sifat mekanis beton bubuk reaktif. Riset ini sejalan dengan Wibowo, Santoso, et al. (2022) menyebutkan bahwa peningkatan nilai kuat tarik belah tertinggi terjadi pada saat komposisi pasir kuarsa 30% dari berat seluruh agregat dengan nilai 5,07 MPa. Sedangkan penambahan *silica fume* 15% dari berat binder merupakan kadar maksimal yang secara efektif mampu menggantikan penggunaan semen pada kadar tertentu dan sejalan dengan Wibowo, Basuki, et al. (2022) menyebutkan bahwa menambahkan *silica fume* sebesar 15% dari berat binder memberikan nilai *modulus of rupture* tertinggi sebesar 7,30 MPa. Sifat *silica fume* sebagai *pozzollan* dengan ukuran lebih kecil dari diameter semen mampu mengisi rongga dalam beton, sehingga meningkatkan kerapatan dan menambah nilai kuat lentur.

## KESIMPULAN

Menurut hasil riset diatas, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil nilai kuat lentur beton RPC dengan kadar silika fume 15% dari berat binder dan variasi pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% dari berat total agregat masing-masing adalah 4,7804 MPa; 5,3353 MPa; 6,2002 MPa; 6,7901 MPa; 7,0351 MPa; 6,8350 MPa; dan 6,2749 MPa. Nilai kuat lentur mulai meningkat saat kadar variasi komposisi pasir kuarsa sebesar 15% dan kuat lentur maksimum dicapai saat kadar variasi komposisi pasir kuarsa sebesar 30% dari berat total agregat.
2. Nilai kuat lentur optimum beton RPC dicapai saat substitusi kadar pasir kuarsa sebesar 30,36% dari berat total agregat dengan nilai kuat lentur beton yang optimum sebesar 7,0428 MPa.
3. Penambahan kadar pasir kuarsa untuk menggantikan kadar pasir alam dapat menaikkan kuat lentur beton RPC maksimum sebesar 47,16% di kadar pasir kuarsa 30% dari kadar komposisi pasir kuarsa 0%.
4. Ukuran partikel pasir kuarsa yang tidak seragam menyebabkan beton RPC menciptakan efek saling mengunci. Serat baja yang melintang pada beton mampu menahan gaya yang terjadi. Sedangkan bahan tambah *silica fume* sebagai *pozzollan* dengan ukuran lebih kecil dari diameter semen mampu mengisi rongga dalam beton dan meningkatkan nilai kuat lentur.

## REKOMENDASI

Penelitian lanjutan tentang topik ini diharapkan terus dikembangkan dengan mensubstitusikan bahan *pozzolan* lain misalnya *fly ash* dan juga serat yang lain misalnya serat organik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu riset ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu sehingga riset ini dapat berhasil dan terlaksana dengan baik.

## REFERENSI

- American Standard for Testing Materials, 2006, "ASTM C 1611/C 1611M-05: Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete".
- American Standard for Testing Materials, 2010, "ASTM C78: Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)".
- American Standard for Testing Materials, 2012, "ASTM C31: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field".
- Abadi, D. R., & Kazemi, H., 2014, "Effects of Different Water and Super Plasticizer Amount, Pre-Setting and

- Curing Regimes on the Behavior of Reactive Powder Concrete", *Civil Engineering Infrastructures Journal*.
- Ahmad, S., Zubair, A., & Maslehuddin, M., 2015, "Effect of key mixture parameters on flow and mechanical properties of reactive powder concrete", *Construction and Building Materials*, 99, 73–81.
- Ali Qureshi, L., Muhammad Tasaddiq, R., Ali, B., Qureshi, L. A., Tasaddiq, R. M., Ali, B., & Sultan, T., 2017, "Effect of Quartz Content on Physical Parameters of Locally Developed Reactive Powder Concrete", *The Nucleus*, 54(4), 242–249.
- Alifyya, B. P., 2021, "Kajian Serapan Co2 Pada Beton Bubuk Reaktif Dengan Variasi Komposisi Silica Fume", *Matriks Teknik Sipil*, 9(2), 127.
- Alkhaly, Y. R., 2017, "Reactive Powder Concrete Dengan Sumber Silika Dari Limbah Bahan Organik", *Teras Jurnal*, 3(2), 157.
- Dady, Y. T., & et al., 2015, "Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang", *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 341–350.
- Kushartomo, W., & Christianto, D., 2015, "Pengaruh Serat Lokal Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Reactive Powder Concrete dengan Teknik Perawatan Penguapan", *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 22(1), 31–36.
- Kushartomo, W., Christianto, D., Suryani, J., Let, J., Parman, J. S., & Jakarta, N., 2016, "Pengaruh Penggunaan Serat Baja Terhadap Flexural Toughness Reactive Powder Concrete", *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 107–112.
- Mayhoub, O. A., Nasr, E. S. A. R., Ali, Y. A., & Kohail, M., 2021, "The influence of ingredients on the properties of reactive powder concrete: A review", *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 145–158.
- Mostofinejad, D., Nikoo, M. R., & Hosseini, S. A., 2016, "Determination of optimized mix design and curing conditions of reactive powder concrete (RPC)", *Construction and Building Materials*, 123, 754–767.
- Standar Nasional Indonesia, 2000, "SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal".
- Noaman, M. T., 2021, "Effect of Steel Fibers and Temperature on The Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete", *Civil and Environmental Engineering*, 17(1), 270–276.
- Raza, S. S., Ali, L., Babar, Q., & Raza, A., 2020, "Effect of different fibers (steel fibers, glass fibers, and carbon fibers) on mechanical properties of reactive powder concrete", *Structural Concrete*, April, 1–13.
- Sarika S, & Dr. Elson John., 2015, "A Study on Properties of Reactive Powder Concrete", *International Journal of Engineering Research And*, V4(11), 110–113.
- Wibowo, W., Basuki, A., & Habibi, M. H., 2022, "Kajian Modulus of Rupture Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Bubuk Reaktif Dengan Variasi Komposisi Silica Fume", *Matriks Teknik Sipil*, 10(2), 153.
- Wibowo, W., Santoso, B., & Muslim, M. N., 2022, "Kajian Kuat Tarik Belah Pada Beton Bubuk Reaktif Mutu Tinggi Dengan Silica Fume 15% Dan Variasi Komposisi Pasir Kuarsa", *Matriks Teknik Sipil*, 10(4), 367.