

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

Wibowo, Purwanto, Maulidah Nur Rizka

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Email: [wibowotsipil87@ft.uns.ac.id](mailto:wibowotsipil87@ft.uns.ac.id)

### Abstract

The development of construction technology demands concrete materials with high durability and performance so that they have structures resistant to various conditions. Concrete has the characteristics of being able to withstand high compressive strength but weak in resisting tensile strength. Adding reinforcing steel to concrete can fight moments in sections prone to cracking and increase the tensile strength of the concrete. Reinforced concrete must have a high bond strength value between the concrete and the reinforcement. This study aimed to determine the effect of adding 15% silica fume and variations of quartz sand on the adhesive strength of reactive powdered concrete. The method used in this research is the experimental method. The test object study was the form of a cube with a side of 20 cm and deform reinforcement with a diameter of 10 cm. The adhesive strength test was carried out on 28 days old concrete by performing a pull-out test and recording the load read on the Universal Testing Machine (UTM). The results of the trial of the adhesive strength of concrete when the maximum load on a cube specimen measuring 20 cm with a variation of 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, and 40% quartz sand were 19.80 MPa; 21.35 MPa; 21.78 MPa; 22.55 MPa; 22.97 MPa; 22.82 MPa, and 22.13 MPa.

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

### Abstrak

Perkembangan teknologi konstruksi menuntut kebutuhan material beton dengan durabilitas dan kinerja yang tinggi sehingga memiliki struktur yang tahan terhadap berbagai kondisi. Beton memiliki karakteristik dapat menahan kuat tekan yang tinggi, namun lemah dalam menahan gaya tarik. Penambahan baja tulangan pada beton dapat menahan momen pada bagian penampang yang rawan akan keretakan dan meningkatkan kuat tarik pada beton. Beton bertulang harus memiliki nilai kuat lekat yang tinggi antara beton dan tulangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek penambahan *silica fume* 15% dan variasi pasir kuarsa pada kuat lekat beton bubuk reaktif. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Benda uji pada penelitian ini berupa kubus dengan sisi 20 cm dan tulangan ulir berdiameter 10 cm. Pengujian kuat lekat dilakukan pada beton berumur 28 hari dengan melakukan *pull out test* dan mencatat beban yang terbaca pada *Universal Testing Machine* (UTM). Hasil pengujian kuat lekat beton saat beban maksimum pada benda uji kubus berukuran 20 cm dengan variasi pasir kuarsa 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% masing-masing adalah 19,80 MPa; 21,35 MPa; 21,78 MPa; 22,55 MPa; 22,97 MPa; 22,82 MPa, dan 22,13 MPa.

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

### PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia banyak menggunakan beton sebagai salah satu material yang sering digunakan. Bahan penyusun beton berupa campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Berdasarkan SNI 03-6468-2000, beton mutu tinggi (*high strength concrete*) adalah beton yang mempunyai nilai kuat tekan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Pemilihan beton sebagai material konstruksi karena memiliki keunggulan sifat berupa durabilitas dan kuat tekan yang tinggi serta tahan terhadap suhu, air, api, sulfat maupun abrasi. Teknologi konstruksi yang terus berkembang menuntut kebutuhan material beton dengan durabilitas dan kinerja yang tinggi sehingga memiliki struktur yang tahan terhadap berbagai kondisi.

Berbagai penelitian terhadap campuran beton dilakukan untuk mendapatkan kualitas beton yang bermutu tinggi agar dapat diaplikasikan secara optimal pada konstruksi. Salah satu inovasi campuran beton yang dikembangkan adalah beton bubuk reaktif atau *Reactive Powder Concrete*. Beton ini termasuk dalam jenis beton *Ultra high Performance Concrete* (UHPC) karena memiliki ciri material yang sangat padat dengan kuat tekan minimum sebesar 150 MPa (Smith & Xu, 2021). Pada campuran beton bubuk reaktif dilakukan peningkatan struktur mikro matriks beton dengan memperbaiki gradasi material partikel sehingga didapat matriks beton dengan kepadatan maksimum. Komposisi utama beton bubuk reaktif adalah adanya perkuatan serat (Nodehi dan Nodehi, 2022), *admixtures*, *silica fume* (Peng dkk., 2015; Vigneshwari dkk., 2018; Ju dkk., 2017), dan rasio air semen yang rendah (Mayhoub et al., 2021).

Ikatan antara agregat dan mortar semen mempengaruhi durabilitas dan sifat mekanis dari beton. Ikatan tersebut membentuk struktur mikro ITZ (*Interface Transition Zone*) dimana ketika mendapatkan tekanan *microcrack* dapat terbentuk dan menyebar ke pasta semen. Perbaikan mikrostruktur dengan menggunakan material pozzolan seperti *silica fume*, pasir kuarsa serta bubuk kuarsa dapat memperbaiki homogenitas dari beton. Serag, dkk. (2017) mengenai efek penambahan nano silika (sampai 4,5%) terhadap model keruntuhan kuat lekat beton, menunjukkan bahwa ketika penambahan 3% nano silika sebagai substitusi sebagian kadar semen (% berat), nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lekat meningkat masing-masing 43,5 %, 12 % dan 38,5 % dibandingkan dengan beton normal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nano silika meningkatkan kuat lekat untuk kedua mode kegagalan, *pull out*, dan *splitting* karena perbaikan dalam sifat mekanik. Pada penelitian ini, digunakan *silica fume* 15% dan variasi pasir kuarsa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh penambahan *silica fume* 15% dan variasi pasir kuarsa dengan kadar 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% dari total berat agregat terhadap kuat lekat pada beton bubuk reaktif.

## METODE

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan kajian kuat lekat pada beton bubuk reaktif terhadap penggantian semen dengan *silica fume* 15% dan variasi pasir kuarsa. Penelitian ini diawali dengan pengujian bahan yang terdiri dari pengujian agregat halus dan pengujian kuat tarik baja tulangan, setelah pengujian dilakukan dan memenuhi syarat standar, maka selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji, *curing*, pengujian beton segar dengan uji *flow table test*, serta pengujian kuat lekat pada beton 28 hari. Data hasil pengujian yang sudah didapatkan akan dianalisis menggunakan *Microsoft Office Excel*. Benda uji berupa beton berbentuk kubus dengan sisi 20 cm serta baja tulangan ulir D10. Kebutuhan benda uji kuat lekat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan benda uji

No.	Kadar <i>Silica Fume</i> (%)	Kadar Pasir Kuarsa (%)	Kode benda uji	Umur (hari)	Benda Uji
1	15%	0	RPC-0%-KL	28	5
2		15	RPC-15%-KL	28	5
3		20	RPC-20%-KL	28	5
4		25	RPC-25%-KL	28	5
5		30	RPC-30%-KL	28	5
6		35	RPC-35%-KL	28	5
7		40	RPC-40%-KL	28	5
Jumlah					35

## Rancang Campur Beton Bubuk Reaktif

Rancang campur (*mix design*) yang digunakan dalam RPC (*Reactive Powder Concrete*) dengan *silica fume* 15% dan variasi pasir kasar mengacu pada penelitian Richard and Cheyrezy (1995). Faktor air semen yang digunakan sebesar 0,19 dengan *superplasticizer* 1,9% dari berat *binder*. Rancang campur beton yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mix design* RPC

Kode Benda Uji	Agregat		Binder		<i>Superplasticizer</i> (lt/m <sup>3</sup> )	Serat Baja (kg/m <sup>3</sup> )	Air (lt/m <sup>3</sup> )
	Pasir Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir Kuarsa (kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Silica Fume</i> (kg/m <sup>3</sup> )			
RPC 0% - PK	1430,40	0	680	120	7,79	11,60	152
RPC 15% - PK	1215,84	214,56	680	120	7,79	11,60	152
RPC 20% - PK	1144,32	286,08	680	120	7,79	11,60	152
RPC 25% - PK	1072,80	357,60	680	120	7,79	11,60	152
RPC 30% - PK	1001,28	429,12	680	120	7,79	11,60	152
RPC 35% - PK	929,76	500,64	680	120	7,79	11,60	152
RPC 40% - PK	858,24	572,16	680	120	7,79	11,60	152

## Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian bahan penyusun RPC mengacu pada *American Standard Testing Method* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk persyaratan pengujian gradasi, pengujian *specific gravity*, kadar lumpur, dan kadar zat organik

serta modulus kehalusan pada agregat halus dan pasir kuarsa. Pengujian kandungan kimia *silica fume* dilakukan dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF).

### Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan dilakukan di Laboratorium Bahan Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pengujian kuat tarik baja tulangan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Benda uji yang digunakan merupakan potongan tulangan baja ulir dengan diameter 10 mm.

### Pengujian Beton Segar

*Flow table test* digunakan sebagai pengujian beton segar. Pengujian bertujuan untuk menentukan “*filling ability*” atau kemampuan mengalir beton segar untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton yang dinyatakan dengan besaran diameter.

### Pengujian Kuat Lekat Beton Bubuk Reaktif

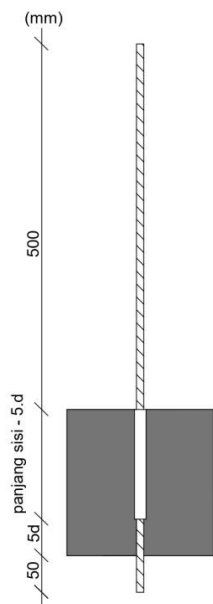
Dalam penelitian ini, ikatan antara baja tulangan dengan beton akan diuji dengan metode *pull out test*. Dalam pengujian, tulangan ditanamkan dalam sebuah benda uji beton dan besaran gaya yang diperlukan untuk tulangan baja terlepas atau tergelincir atau telah mencapai gaya maksimum. Pengujian kuat lekat diperhitungkan dengan 2 kondisi, yaitu saat slip 0,25 mm dan saat beban maksimum pada UTM. Pengujian kuat lekat dilakukan pada beton yang berumur 28 hari dengan cara menarik tulangan yang tertanam dalam kubus beton menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) kemudian mencatat gaya yang dibutuhkan. Pengujian kuat lekat terhadap beton bertulang berdasarkan *pull out test* RILEMCEB RC6 (1983) dihitung pada Persamaan [1] dan Persamaan [2]

$$P = L_d \phi \pi \mu \dots\dots\dots [1]$$

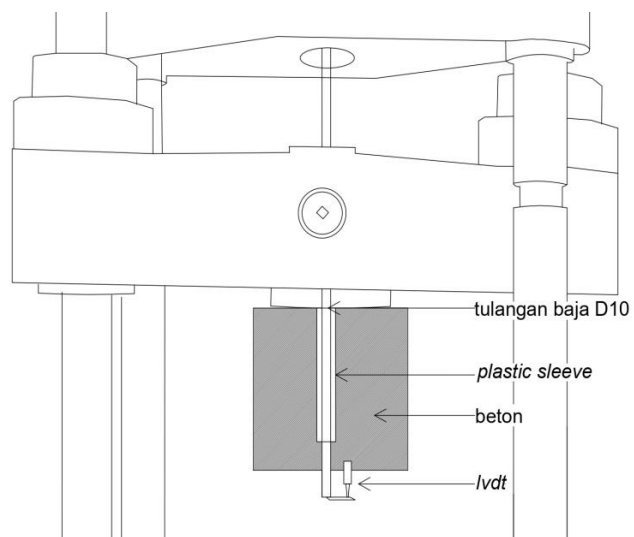
$$\mu = \frac{P}{L_d \phi \pi} \dots\dots\dots [2]$$

dengan:

- $\mu$  = kuat lekat (MPa)
- P = beban (N)
- $L_d$  = panjang penanaman (mm)
- $\phi$  = diameter baja tulangan (mm)



Gambar 1. Sketsa benda uji



Gambar 2. Sketsa pengujian kuat lekat

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian pasir kuarsa dan pasir berupa pengujian gradasi, kadar zat organik, kandungan lumpur, dan *specific gravity*.

Hasil pengujian pasir kuarsa dan pasir halus ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian pasir dan pasir kuarsa

Jenis Pengujian	Pasir	Pasir Kuarsa	Standar	Kesimpulan
<i>Absorption</i>	3,46%	2,19%	–	–
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,79	2,65	–	–
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,54	2,50	–	–
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,63	2,56	2,5 - 2,7 ASTM C.128 - 79	Memenuhi Standar
Kandungan Lumpur	2,30%	0,70%	<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	2,3 – 3,1 ASTM C.33 - 97	Memenuhi Standar

Persyaratan menurut ASTM C-1240 menyatakan bahwa kadar minimum kandungan SiO<sub>2</sub> adalah 85%. Dari hasil pengujian kandungan kimia yang terdapat dalam *silica fume* memberikan data kadar SiO<sub>2</sub> yaitu 85,76%, sehingga dapat dinyatakan *silica fume* yang digunakan pada pengujian ini telah memenuhi persyaratan yang ditentukan.

### Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Benda uji yang digunakan merupakan potongan tulangan baja ulir dengan diameter 10 mm dan panjang 50 cm. Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian baja tulangan

Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	P Leleh (kN)	P Maks (kN)	Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)
A	10,04	79,26	28,43	37,26	358,77	
B	10,01	78,75	28,43	38,04	361,12	
C	10,01	78,75	28,83	39,03	366,10	362,67
D	10,01	78,75	28,83	41,38	366,10	
E	10,04	79,26	28,63	38,63	361,25	

### Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton Bubuk Reaktif

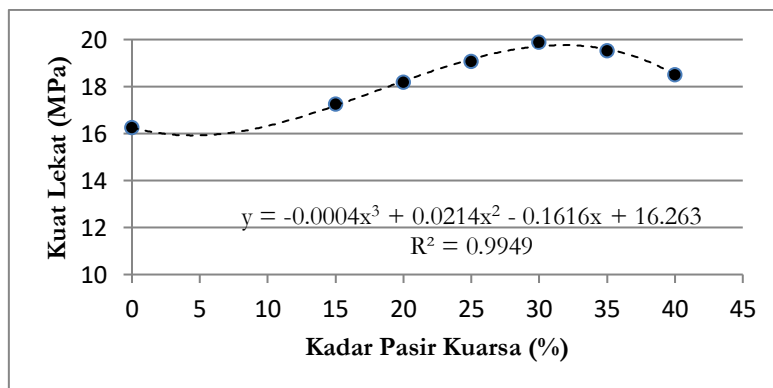
Hasil pengujian kuat lekat beton bubuk reaktif dengan *silica fume* 15% dan variasi pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% pada saat slip 0,25 mm dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton saat Slip 0,25 mm

Kode Benda Uji	P saat slip 0,25 mm (kN)	Kuat Lekat slip 0,25 mm (MPa)	Kuat Lekat Rata-rata (MPa)	
RPC 0% - KL	1	26,67	16,98	
	2	25,89	16,48	
	3	25,11	15,98	16,26
	4	26,28	16,73	
	5	23,73	15,11	
RPC 15% - KL	1	29,42	18,73	
	2	27,46	17,48	
	3	24,32	15,48	17,26
	4	28,24	17,98	
	5	26,09	16,61	
RPC 20% - KL	1	27,46	17,48	
	2	29,62	18,85	18,18
	3	28,83	18,35	
	4	28,64	18,23	

Kode Benda Uji		P saat slip 0,25 mm (kN)	Kuat Lekat slip 0,25 mm (MPa)	Kuat Lekat Rata-rata (MPa)
RPC 25% - KL	5	28,24	17,98	19,05
	1	29,62	18,85	
	2	29,22	18,60	
	3	30,60	19,48	
	4	30,40	19,35	
RPC 30% - KL	5	29,81	18,98	19,88
	1	31,38	19,98	
	2	31,19	19,85	
	3	30,60	19,48	
	4	31,38	19,98	
RPC 35% - KL	5	31,58	20,10	19,53
	1	31,19	19,85	
	2	31,38	19,98	
	3	30,60	19,48	
	4	30,40	19,35	
RPC 40% - KL	5	29,81	18,98	18,50
	1	28,44	18,11	
	2	29,42	18,73	
	3	28,64	18,23	
	4	29,42	18,73	
	5	29,42	18,73	

Berdasarkan Tabel 5. dapat disimpulkan dengan grafik hubungan kuat lekat beton saat slip 0,25 mm dengan variasi kadar pasir kuarsa pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik kuat lekat beton bubuk reaktif variasi pasir kuarsa saat slip 0,25 mm

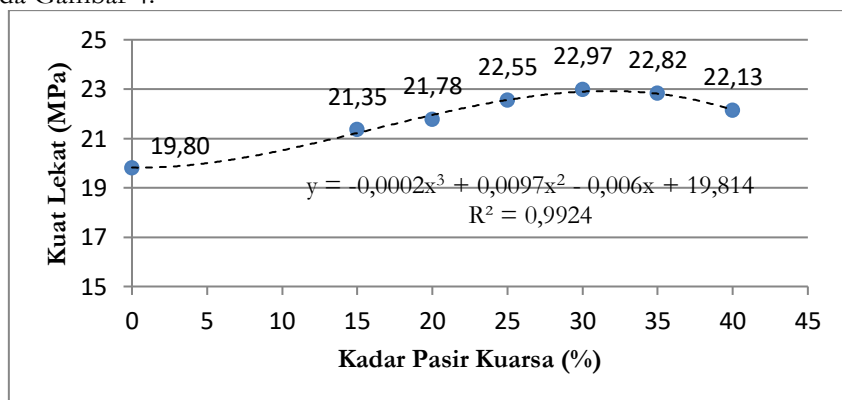
Berdasarkan hasil analisis Gambar 3., terbentuk garis regresi polinomial dan dapat dihitung kuat lekat beton saat slip 0,25 mm optimum beton bubuk reaktif. Kuat lekat slip 0,25 beton RPC optimum terjadi pada kadar pasir kuarsa 31,37% sebesar 19,90 MPa.

Hasil pengujian kuat lekat beton bubuk reaktif dengan *silica fume* 15% dan variasi pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% pada saat gaya maksimum ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton Maksimum

Kode Benda Uji	Gaya Tarik Maksimum (kN)	Kuat Lekat Maksimum (MPa)	Kuat Lekat Rata-rata (MPa)
RPC 0% - KL	1	32,36	19,80
	2	32,17	
	3	29,42	
	4	31,97	
	5	29,62	
RPC 15% - KL	1	34,91	21,35
	2	33,93	
	3	32,17	
	4	33,54	
	5	33,15	
RPC 20% - KL	1	31,77	21,78
	2	34,52	
	3	35,11	
	4	35,11	
	5	34,52	
RPC 25% - KL	1	36,09	22,55
	2	35,50	
	3	34,32	
	4	36,09	
	5	35,11	
RPC 30% - KL	1	36,09	22,97
	2	36,48	
	3	35,11	
	4	35,89	
	5	36,87	
RPC 35% - KL	1	36,28	22,82
	2	36,09	
	3	35,50	
	4	36,48	
	5	34,91	
RPC 40% - KL	1	33,34	22,13
	2	35,50	
	3	35,30	
	4	35,11	
	5	34,52	

Berdasarkan Tabel 6. dapat disimpulkan dengan grafik hubungan kuat lekat beton maksimum dengan variasi kadar pasir kuarsa pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik kuat lekat beton bubuk reaktif variasi pasir kuarsa saat  $P_{maks}$

Berdasarkan hasil analisis Gambar 4., terbentuk garis regresi polinomial dan dapat dihitung kuat lekat beton saat  $P_{maks}$  optimum beton bubuk reaktif. Kuat lekat maksimum beton RPC optimum terjadi pada kadar pasir kuarsa

32,02% sebesar 23,19 MPa. Pengaruh Variasi pasir kuarsa terhadap kuat lekat maksimum beton RPC dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh variasi pasir kuarsa terhadap nilai kuat lekat maksimum beton RPC

Kode Benda Uji	Kuat Lekat (MPa)	Prosentase Perubahan Kuat Lekat terhadap RPC 0% (%)
RPC 0% - KL	19,80	0,00
RPC 15% - KL	21,35	7,82
RPC 20% - KL	21,78	9,24
RPC 25% - KL	22,55	12,61
RPC 30% - KL	22,97	14,06
RPC 35% - KL	22,82	13,15
RPC 40% - KL	22,13	10,18

Penambahan pasir kuarsa dalam campuran RPC membentuk pasta yang sangat baik. Pasir kuarsa sebagai pengisi (*filler*) antar muka agregat yang dapat mengurangi terbentuknya ITZ (*Interfacial Transition Zone*) pada beton, sehingga akan mengurangi terbentuknya retakan dan meningkatkan kekuatan akhir. Penambahan *silica fume* dan pasir kuarsa yang juga mengandung senyawa *silica* tinggi merupakan material pozzolan yang berfungsi mengurangi hidrasi antara semen dan air ketika proses pencampuran beton. Sebagai pengganti pasir halus, pasir kuarsa menjadi agregat yang sangat baik digunakan karena dapat mengurangi rongga antar agregat yang dapat mengurangi porositas awal campuran sehingga meningkatkan kuat tekan beton.

Qureshi et al.,(2018) dalam penelitiannya menggunakan variasi pasir kuarsa dari kadar 20% – 41% dengan benda uji kubus ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm. Kuat tekan optimum didapatkan pada saat kadar pasir kuarsa 35% dengan nilai kuat tekan beton 76,73 MPa. Penggunaan kadar pasir kuarsa 35% dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 50,54% dari beton umur 28 hari dengan kadar pasir kuarsa 20%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan pasir kuarsa pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton dikarekan sifat dari pasir kuarsa sebagai agregat yang dapat mengisi pori pada beton. Kepadatan dan kekuatan beton serta geometri dan diameter tulangan berpengaruh pada *interlocking* antara baja tulangan dan beton.

## SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil pengujian, pengolahan data dan pembahasan yang telah dilaksanakan dalam penelitian beton bubuk reaktif *silica fume* 15 % dan variasi pasir kuarsa untuk beton 28 hari, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat lekat optimum saat slip 0,25 mm pada beton bubuk reaktif terjadi pada penambahan kadar variasi pasir kuarsa 31,37% dari total berat agregat sebesar 19,90 MPa.
2. Nilai kuat lekat optimum saat beban maksimum pada beton bubuk reaktif terjadi pada penambahan kadar variasi pasir kuarsa 32,02% dari total berat agregat sebesar 23,19 MPa.
3. *Silica fume* 15% dengan variasi pasir kuarsa terhadap berat agregat dapat meningkatkan nilai kuat lekat beton. Nilai kuat lekat beton pada benda uji kubus berukuran 20 cm dengan variasi pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% masing-masing adalah 19,80 MPa; 21,35 MPa; 21,78 MPa; 22,55 MPa; 22,97 MPa; 22,82 MPa; dan 22,13 MPa. Meningkatnya nilai kuat tekan beton mulai terjadi pada variasi pasir kuarsa 15% dan kuat tekan beton maksimum terjadi pada saat kadar pasir kuarsa 30% dengan nilai kuat tekan 22,97 MPa.
4. Penambahan pasir kuarsa dapat meningkatkan kuat lekat maksimum beton RPC sebesar 14,06% dari beton RPC tanpa pasir kuarsa.

## REKOMENDASI

Agar penelitian dapat dilaksanakan dan mendapatkan hasil yang lebih baik, maka terdapat beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan diameter tulangan dan jenis tulangan yang berbeda untuk mengetahui apakah ada perubahan yang signifikan terhadap kuat lekat beton.
2. Membuat benda uji dengan presentase variasi yang lebih beragam untuk mendapatkan kadar variasi yang lebih optimum pada kuat lekat dan kapasitas penjangkaran.

## UCAPAN TERIMAKASIH



Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf Laboratorium Bahan Universitas Sebelas Maret atas bantuan yang diberikan dan teman-teman tim skripsi *Reactive Powder Concrete* atas kerja sama dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- ASTM C.1240, 1995, "Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar".
- Ju, Y., Tian, K., Liu, H., Reinhardt, H.W. and Wang, L., 2017. Experimental investigation of the effect of silica fume on the thermal spalling of reactive powder concrete. *Construction and Building Materials*, 155, pp.571-583.
- 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," In *Ain Shams Engineering Journal*. Vol. 12 Issue 1.
- Nodehi, M. and Nodehi, S.E., 2022. Ultra high performance concrete (UHPC): Reactive powder concrete, slurry infiltrated fiber concrete and superabsorbent polymer concrete. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(1), pp.1-22.
- 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.
- Qureshi, L. A., Tasaddiq, R. M., Ali, B., & Sultan, T., 2018, "Effect of Quartz Content on Physical Parameters of Locally Developed Reactive Powder Concrete," *The Nucleus*. Vol. 54 No. 4, pp. 242–249.
- Richard, P., & Cheyrezy, M., 1995, "Composition of Reactive Powder Concretes," *Cement and Concrete Research*, Vol. 25 No. 7.
- Serag, M. I., Yasien, A. M., El-Feky, M. S., & Elkady, H., 2017, "Effect Of Nano Silica on Concrete Bond Strength Modes of Failure," *International Journal of GEOMATE*. Vol. 12 No. 29.
- Smith, A. S. J., & Xu, G., 2021, "Classification of Ultra-high Performance Concrete (UHPC)," *European Journal of Engineering and Technology Research*. Vol. 6 No. 6.
- SNI 03-6468-2000, 2000, "Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang".
- Vigneshwari, M., Arunachalam, K. and Angayarkanni, A., 2018. Replacement of silica fume with thermally treated rice husk ash in Reactive Powder Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 188, pp.264-277.