

KAJIAN KUAT TEKAN PADA BETON BUBUK REAKTIF DENGAN SILICA FUME 15%, PASIR KUASA 30% DAN VARIASI FLY ASH

Wibowo, Endah Safitri, Fitriana Puji Hastuti

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524.

Email : wibowo68@staff.uns.ac.id

Abstract

The Indonesian government is carrying out a lot of infrastructure development in various sectors. Improving the quality of concrete is one of the innovations to improve the quality of infrastructure. Reactive powder concrete (RPC) is a concrete innovation without coarse aggregate and is replaced with fine aggregate to increase mix homogeneity, concrete density, and produce high-quality concrete. Fly ash as an environmentally friendly construction material is needed to prevent natural damage due to excessive use of cement. This study aims to determine the effect of fly ash variations on the compressive strength of high-quality RPC. The method used in this research is experimental. The concrete mix design uses 15% silica fume, 30% quartz sand, and 0% fly-ash variations. The concrete test object is cylindrical with a diameter of 7.5 cm and a height of 15 cm. The sample was tested at the age of 28 days. The specimens produced meet the requirements of high-quality concrete with a compressive strength of more than 41.4 MPa. The results of the compressive strength test of reactive powder concrete with variations of 0% fly-ash; 2.5%; 5%; 7.5%; 10%; and 12.5% each of 83.86 MPa; 81.83 MPa; 80.81 MPa; 76.78 MPa; 72.19 MPa; 64.90 MPa.

Keywords: *compressive strength, fly ash, high strength concrete, reactive powder concrete*

Abstrak

Pemerintah Indonesia sedang melaksanakan banyak pembangunan infrastruktur pada berbagai sektor. Peningkatan kualitas beton merupakan inovasi guna meningkatkan kualitas pembangunan infrastruktur. Beton bubuk reaktif adalah inovasi beton tanpa agregat kasar yang diganti dengan agregat halus guna meningkatkan kehomogenan dan kepadatan dari beton serta menghasilkan beton yang bermutu tinggi. Fly ash sebagai material konstruksi ramah lingkungan dibutuhkan untuk mencegah kerusakan alam akibat penggunaan semen yang berlebihan. Penelitian ini bertujuan guna menentukan kuat tekan beton bubuk reaktif terhadap pengaruh variasi fly ash. Metode pada penelitian ini yaitu eksperimental. Rancang campuran beton menggunakan silica fume 15%, pasir kuarsa 30%, dan variasi fly ash. Benda uji berbentuk silinder yang memiliki diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm. Pengujian dilaksanakan saat sampel berumur 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian, benda uji yang dihasilkan memiliki kuat tekan lebih dari 41,4 MPa sehingga memenuhi persyaratan sebagai beton bermutu tinggi. Hasil uji kuat tekan beton bubuk reaktif dengan variasi kadar fly ash 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5% masing-masing sebesar 83,86 MPa; 81,83 MPa; 80,81 MPa; 76,78 MPa; 72,19 MPa; 64,90 MPa.

Kata Kunci : beton bubuk reaktif, beton mutu tinggi, fly ash, kuat tekan

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang menjadi prioritas pemerintah. Peningkatan kualitas beton merupakan salah cara untuk menunjang hasil pembangunan yang maksimal. Beton terdiri dari campuran agregat halus, air, semen serta dapat diberi campuran bahan tambah (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Beton sering menjadi pilihan bahan konstruksi karena material penyusunnya mudah ditemukan, dapat dibentuk sesuai keperluan, memiliki kuat tekan tinggi, dan mudah dalam merawatnya. Beton didesain untuk memiliki kinerja yang baik, memiliki kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap segala kondisi, ramah lingkungan, dan efisien (Kardiyono Tjokrodinuljo, 2007). Salah satu inovasi beton yang diharap bisa memenuhi kriteria beton yang baik yaitu *Reactive Powder Concrete* (RPC).

RPC adalah inovasi beton tanpa bahan baku agregat kasar, tetapi digantikan dengan penggunaan material berukuran nanometer (Sarika S & Dr. Elson John, 2015; Firmansyah & Nuranita, 2023). Tanpa adanya agregat kasar dalam campuran beton akan menghasilkan campuran beton yang padat dan homogen sehingga kuat beton yang dihasilkan meningkat. RPC membutuhkan penggunaan *super-plasticizer* agar beton segar mempunyai tingkat kelecakan atau *workability* yang baik karena nilai faktor air semen (fas) yang digunakan rendah (Alkhalay, 2013). Material RPC terdiri dari *silica fume*, pasir kuarsa, semen, *steel fiber*, air, dan *superplasticizer* (Alkhalay, 2017). Penggunaan serat baja (*steel fiber*)

pada RPC berguna untuk meminimalkan sifat getas akibat kuat tekan RPC yang tinggi. Kuat tekan RPC dapat meningkat hingga 10-15 MPa dari beton tanpa serat baja (Kannan Rajkumar et al., 2020). *Silica fume* merupakan material pozzolan yang mengandung *silica* dan alumina serta memiliki ukuran partikel yang kecil ($0,1 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$) (Aisyah, 2018; Zulkarnain & Sani, 2023; Padang, 2020). Penelitian Hidayat (2021) memperoleh hasil kuat tekan beton bertambah seiring bertambahnya *silica fume* hingga nilai maksimal saat kadar *silica fume* 15%. Pasir kuarsa pada RPC bermanfaat untuk memperbaiki homogenitas dan sifat mekanik pada beton bubuk reaktif. Azizah (2022) dalam penelitiannya dengan menambahkan *silica fume* 15% dan variasi pasir kuarsa menghasilkan kuat tekan maksimal 85,58 saat variasi pasir kuarsa 30%.

Dalam beberapa alasan, industri beton tergolong tidak ramah lingkungan dan tidak berkelanjutan atau *sustainable* dikarenakan dalam industri saat ini banyak menggunakan semen *Portland* sebagai bahan utamanya sehingga produksi semen *portland* semakin meningkat. Peningkatan produksi semen *Portland* dapat mengakibatkan timbulnya efek rumah kaca yang memicu pemanasan global. Penggunaan *fly ash* mengacu pada permasalahan di atas akan menjadikan industri beton lebih *sustainable* ke depannya. *Fly ash* merupakan limbah pembakaran batubara yang memiliki kadar komposisi semen yang tinggi dan bisa bereaksi dengan kapur bebas dari hasil proses hidrasi semen serta menciptakan suatu senyawa pengikat saat temperatur normal dengan adanya air sehingga material disebut memiliki sifat pozzolonik. Penggunaan *fly ash* untuk bahan tambah dalam beberapa jenis beton mengakibatkan kuat tekan beton meningkat. Setiawati (2018) pada penelitiannya mengenai *fly ash* sebagai material pengganti semen dalam beton normal diperoleh bahwa nilai hasil kuat tekan semakin meningkat seiring bertambah kadar *fly ash*. Penelitian mengenai penambahan *fly ash* dalam *self compacting concrete* (SCC) yang dilakukan oleh Trimardia et al. (2022) dapat ditentukan bahwa penggunaan kadar *fly ash* mampu meningkatkan kuat tekan SCC dengan hasil nilai persentase optimum yaitu pada 7,5% *fly ash* dari berat sementitus. Penggunaan *fly ash* dalam beton RPC *silica fume* 15% dan pasir kuarsa 30% perlu dilakukan untuk menentukan pengaruh *fly ash*.

Besarnya kuat tekan beton adalah parameter utama beton untuk mendapat mutu sesuai rencana. Kuat tekan beton yaitu kekuatan yang dimiliki beton untuk menahan beban yang diberikan sebelum beton mengalami retak atau hancur. Nilai kuat tekan beton lebih bagus dari pada kuat tarik beton. Penelitian ini bertujuan guna menentukan pengaruh penambahan *silica fume* sebesar 15%, pasir kuarsa 30% dan variasi kadar *fly ash* 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari massa semen terhadap kuat tekan pada *Reactive Powder Concrete* (RPC).

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan dua variabel yaitu variabel bebas berupa variasi kadar *fly ash* yang digunakan (0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10% dan 12,5% dari berat sementitus) dan variabel terikat berupa kuat tekan. Benda uji dalam penelitian ini berbentuk silinder yang memiliki diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm sejumlah 18 buah. Benda uji yang sudah dibuat didiamkan setelah 24 jam sebelum pembongkaran *mould*. Tahap selanjutnya yaitu mengangin-anginkan benda uji di tempat yang lembab selama 24 jam lalu dilakukan perawatan beton dengan metode *curing* atau dengan perendaman benda uji di dalam air selama 21 hari. **Tabel 1.** Merupakan perincian benda uji penelitian ini.

Tabel 1. Benda Uji Kuat Tekan

Kadar <i>Fly Ash</i>	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
Uji Kuat Tekan		
0%	28	3
2,5%	28	3
5%	28	3
7,5%	28	3
10%	28	3
12,5%	28	3
Jumlah Benda Uji		18

Mix Design RPC

Mix design Reactive Powder Concrete (RPC) *silica fume* 15% dan pasir kuarsa 30% dengan penambahan variasi *fly ash* dibuat berdasarkan Richard & Cheyrezy (1995). Faktor Air Semen (FAS) yang diterapkan adalah 0,19 serta *super-plasticizer* sebesar 1,90% dari berat binder. **Tabel 2.** merupakan Rekapitulasi *mix design* RPC pada penelitian ini.

Tabel 2. Rekapitulasi *Mix Design* RPC

Kadar <i>Fly Ash</i>	Sementitus			Agregat		<i>Steel Fiber</i> (Kg/m ³)	<i>Super-plasti-cizer</i> (lt/m ³)	Air (lt/m ³)
	<i>Fly Ash</i> (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	<i>Silica Fume</i> (Kg/m ³)	Pasir Halus (Kg/m ³)	Pasir Kuarsa (Kg/m ³)			
0%	0	680	120	990,85	424,65	11,48	7,71	152
2,5%	20	660	120	990,85	424,65	11,48	7,71	152
5%	40	640	120	990,85	424,65	11,48	7,71	152
7,5%	60	620	120	990,85	424,65	11,48	7,71	152
10%	80	600	120	990,85	424,65	11,48	7,71	152
12,5%	100	580	120	990,85	424,65	11,48	7,71	152

Pengujian Material Penyusun Beton

Pengujian material penyusun beton berguna untuk mengetahui standar dan mutu material penyusun beton yang digunakan. Pengujian kandungan lumpur, modulus kehalusan, zat organik, berat jenis, *absorption* untuk agregat halus dilakukan di Labrotorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil UNS. Pengujian *X-Ray Fluorosence* (XRF) untuk *silica fume* dilakukan di Laboratorium Terpadu MIPA Universitas Sebelas maret sementara untuk pengujian XRF untuk *fly ash* dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilaksanakan untuk mengetahui *workability* atau kelecakan beton bubuk reaktif. Pengujian yang dilakukan yaitu uji *slump flow*.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan bantuan *Compression Testing Machine* (CTM). Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Hasil dari alat CTM akan mengetahui nilai maksimum beton ketika menerima gaya dari luar. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan acuan SNI 2847-2019. Rumus yang dipakai guna menghitung kuat tekan beton terdapat pada Persamaan 1:

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Dengan :

- f_c = tegangan desak (N/mm² atau MPa)
- P = gaya desak (N)
- A = luas penampang (mm²)

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material Penyusun Beton Bubuk Reaktif

Hasil dari pengujian agregat halus terdiri dari *specific gravity*, zat organik, kandungan lumpur, dan modulus kehalusan dapat dilihat dalam **Tabel 3.**

Tabel 3. Hasil Pengujian Pasir Alam dan Pasir Kuarsa

Jenis Pengujian	Pasir Halus	Pasir Kuarsa	Standar	Keterangan
<i>Absorbsion</i>	4,34%	1,97%	-	-
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,89	2,66	-	-
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,57	2,53	-	-
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,68	2,58	2,5 – 2,7 (ASTM C. 128-79)	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	1,70%	1,10%	<5% (PBI 1971, ASTM C.117)	Memenuhi Syarat

Jenis Pengujian	Pasir Halus	Pasir Kuarsa	Standar	Keterangan
Kandungan Zat Organik	Kuning Tua	Kuning Muda	Kuning Kemerahan (PBI 1971, ASTM C.40)	Memenuhi Syarat
Modulus Kehalusan	2,54	3,42	1,5 < MH < 3,8 (SII 0052-80)	Memenuhi Syarat

Hasil Pengujian XRF untuk material *silica fume* didapatkan kadar SiO₂ 85,76% yang memenuhi syarat ASTM C 1240, 2003 yaitu kandungan SiO₂ dalam *silica fume* lebih dari 85%. Sedangkan, untuk hasil pengujian XRF pada *fly ash* didapatkan kadar senyawa CaO sebesar 7,33%. Menurut (SUSILA, 2013) ASTM C-618-96, *fly ash* yang memiliki kadar senyawa CaO kurang dari 10% termasuk tipe *fly ash* tipe F.

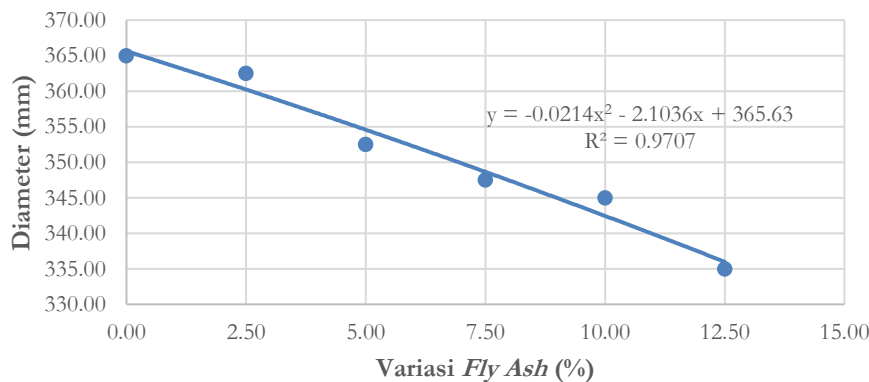
Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil *slump flow test* pada beton segar dapat dilihat dalam Tabel 4.

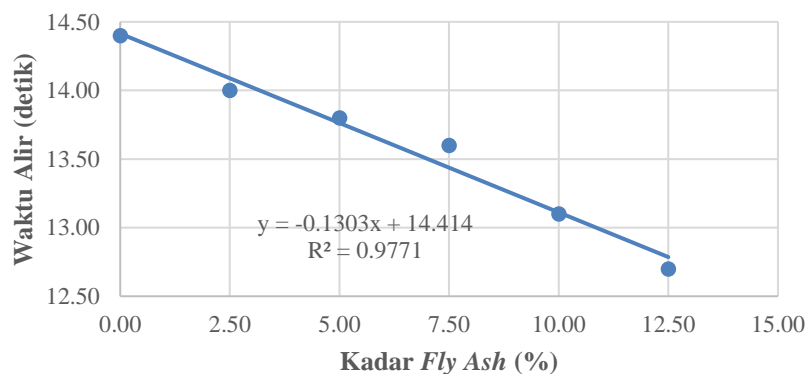
Tabel 4. Hasil *Slump Flow Test* RPC

Kadar Fly Ash	Pengujian Slump Flow			
	D1 (mm)	D2 (mm)	Drerata (mm)	Trerata
0%	360,0	370,0	365,0	14,4
2,5%	365,0	360,0	362,5	14,0
5%	350,0	355,0	352,5	13,8
7,5%	345,0	350,0	347,5	13,6
10%	350,0	340,0	345,0	13,1
12,5%	330,0	340,0	335,0	12,7

Berdasarkan data pada Tabel 4, grafik hubungan antara hasil *slump flow test* dengan kadar *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik Hubungan Hasil Diameter *Slump Flow Test* dengan Variasi Kadar *Fly Ash*



Gambar 2. Grafik Hubungan Hasil Waktu *Slump Flow Test* dengan Variasi Kadar *Fly Ash*

Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2 dapat ditentukan bahwa penambahan penggunaan variasi kadar *fly ash* dalam campuran RPC *silica fume* 15% dan pasir kuarsa 30% menyebabkan diameter dan waktu alir dari hasil *slump*

flow test semakin menurun di setiap penambahan kadar *fly ash*. Hal itu disebabkan oleh *fly ash* memiliki kemampuan penyerapan air lebih besar dibanding dengan semen sehingga mengakibatkan *workability* menurun. (Mohamad et al., 2020)

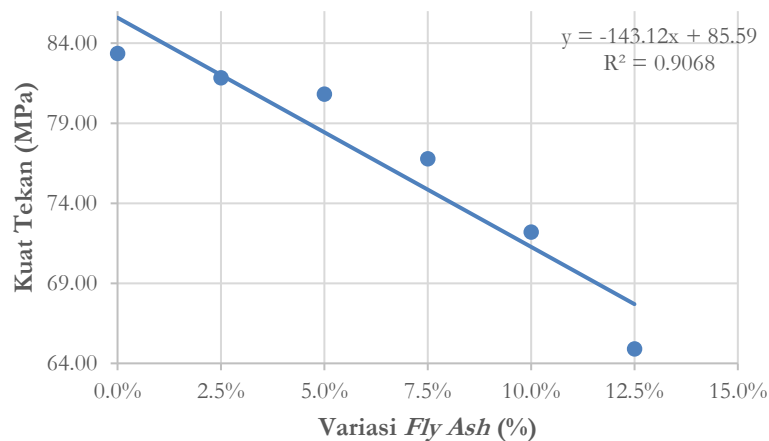
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dengan bantuan *Compression Testing Machine* (CTM) di Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik UNS pada beton berumur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton terdapat dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kadar <i>Fly Ash</i>	Kode	Pmax (kN)	Faktor Korelasi	f'c (MPa)	f'c rata-rata (MPa)
0%	A	345	1,06	82,56	83,36
	B	350	1,06	83,53	
	C	350	1,06	83,98	
2,5%	A	340	1,06	81,58	81,83
	B	345	1,06	82,78	
	C	340	1,06	81,14	
5%	A	335	1,06	80,38	80,81
	B	340	1,06	81,80	
	C	330	1,06	80,24	
7,5%	A	325	1,06	78,40	76,78
	B	320	1,06	76,37	
	C	315	1,06	75,58	
10%	A	310	1,06	74,18	72,19
	B	300	1,06	71,98	
	C	295	1,06	70,40	
12,5%	A	280	1,06	67,18	64,90
	B	260	1,06	61,89	
	C	275	1,06	65,63	

Perbedaan nilai kuat tekan ditampilkan pada **Gambar 3**. Sedangkan perbedaan nilai kuat tekan beton dengan penambahan *fly ash* terhadap beton tanpa *fly ash* terdapat pada **Tabel 6**.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Variasi Kadar *Fly Ash*

Tabel 6. Pengaruh *Fly Ash* terhadap nilai kuat tekan beton RPC

Kadar <i>Fly Ash</i>	f'c (MPa)	Persentase Perubahan f'c terhadap FA0% (%)
----------------------	-----------	--

0%	83,36	0,00
2,5%	81,83	-1,83
5%	80,81	-3,06
7,5%	76,78	-7,89
10%	72,19	-13,40
12,5%	64,90	-22,14

Hasil pengujian kuat tekan seluruh benda uji beton RPC melebihi 41,4 MPa sehingga memenuhi syarat sebagai beton bermutu tinggi menurut SNI 03-6468 (2000). Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dalam RPC menyebabkan kuat tekan RPC menurun. Penggunaan bahan tambah *silica fume* 15% dan variasi kadar *fly ash* secara bersamaan serta berkurangnya massa semen mengakibatkan reaksi yang terjadi antara Ca(OH)_2 dari hasil hidrasi semen dan SiO_2 dari bahan tambah berkurang sehingga *fly ash* dan *silica fume* tidak dapat bekerja secara maksimal dan berdampak pada penurunan kuat tekan beton RPC. Beton RPC *silica fume* 15%, pasir kuarsa 30%, dan kadar *fly ash* 2,5% dan 5% mengalami penurunan kuat tekan lebih sedikit dibanding variasi yang lain atau memiliki selisih yang lebih sedikit dari kadar maksimum. RPC dengan variasi *fly ash* 2,5% dan 5% dapat menjadi alternatif beton yang ramah lingkungan dan masih memenuhi spesifikasi beton mutu tinggi.

KESIMPULAN

Hasil pengujian dan analisis data yang dilakukan pada kajian kuat tekan pada beton bubuk reaktif dengan substitusi variasi *fly ash* didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Beton bubuk reaktif dengan penambahan variasi *fly ash* sudah memenuhi syarat beton bermutu tinggi yaitu nilai kuat tekan lebih dari 41,4 MPa.
2. Variasi *fly ash* sebagai substitusi semen menyebabkan kuat tekan beton bubuk reaktif menurun.
3. Nilai kuat tekan beton bubuk reaktif dengan variasi kadar *fly ash* 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5% masing-masing adalah 83,36 MPa; 81,83 MPa; 80,81 MPa; 76,78 MPa; 72,19 MPa; dan 64,90 MPa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membimbing serta memberikan arahan dan masukan kepada penulis dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Aisyah, G. N. (2018). *Penggunaan Bahan Silica Fume, Superplasticizer dan Fiber Polypropylene Pada Roller Compacted Concrete (RCC) dengan Alat Pemasatan Standard Proctor*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/162777>
- Alkhaly, Y. R. (2013). *Reactive Powder Concrete dengan Sumber Silika dari Limbah Bahan Organik*. 3(2), 157–166.
- Alkhaly, Y. R. (2017). *Reactive Powder Concrete dengan sumber silika dari limbah bahan organik*. Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil, 3(2), 157-166.
- ASTM C 1240. (2003). *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*. *Annual Book of ASTM Standards*, 15, 1–6. www.astm.org,
- Azizah, T. (2022). *Kajian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Bubuk Reaktif Mutu Tinggi dengan Silica Fume 15% Variasi Pasir Kuarsa*. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/90510/Kajian-Kuat-Tekan-dan-Modulus-Elastisitas-Beton-Bubuk-Reaktif-Mutu-Tinggi-dengan-Silica-Fume-15-Variasi-Pasir-Kuarsa>
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Sni 03-6468-2000 Tata cara perencanaan campuran tinggi dengan semen portland dengan abu terbang* (p. 18).
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. *Standar Nasional Indonesia*, 8, 720.
- FIRMANSYAH, R. M. N., & NURANITA, B. (2023). *Studi Penggunaan Beton RPC Menggunakan Bahan Tambah Sika Viscocrete 10*. *Prosiding FTSP Series*, 547-550.
- Hidayat, I. N. (2021). *Kajian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Bubuk Reaktif Mutu Tinggi Dengan Variasi Silica Fume*. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/89970/Kajian-Kuat-Tekan-dan-Modulus-Elastisitas-Beton-Bubuk-Reaktif-Mutu-Tinggi-Dengan-Variasi-Silica-Fume>
- Kannan Rajkumar, P. R., Mathangi, D. P., C, S., & M, N. (2020). *Experimental Investigation of Reactive Powder Concrete exposed to Elevated Temperatures*. *Construction and Building Materials*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119593>
- Kardiyono Tjokrodinuljo. (2007). *Teknologi Beton*. Gajah Mada press.

- Mohamad, R. M., Rachman, A., & Mointi, R. (2020). Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen. *Radial*, 8(1), 25–33.
- Padang, I. (2020). The Study of Concrete Mixture Planning with the Addition of Superplasticizer and the use of Silica Fume as a Substitute of Cement. *Journal Dynamic Saint*, 5(2), 964-967.
- Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501–1511. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00144-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2)
- Sarika S, & Dr. Elson John. (2015). A Study on Properties of Reactive Powder Concrete. *International Journal of Engineering Research And*, V4(11), 110–113. <https://doi.org/10.17577/ijertv4is110170>
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 17, 1–8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556>
- Susila, H. (2013). Penerapan Manajemen Mutu Pada Proses Pembangunan Struktur Beton Gedung Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) Di Surakarta. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 13(17).
- Trimardina, Khadavi, & Veronika. (2022). *Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Self Compacting Concrete (SCC)*.
- Zulkarnain, F., & Sani, I. I. (2023). Perbandingan Pemakaian Air Kapur Serta Pengaruh Penambahan Sika Fume Terhadap Ketahanan Beton Mutu Tinggi. *ABDI SABHA (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, 4(2), 23-33.