

STUDY ON SILICA FUME VARIATIONS IN REACTIVE POWDER SELF COMPACTING CONCRETE (RPSCC)

Article History:

Received
02 January 2026
Revised
15 January 2026
Accepted
04 February 2026

NUANCHARY CAHYAH SUPRIYADI¹, BERNARDINUS HERBUDIMAN²

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Indonesia

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Indonesia

Email: nuanchary.c.s@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan infrastruktur mendorong inovasi beton bermutu tinggi, salah satunya Reactive Powder Self Compacting Concrete (RPSCC). Diakibatkan belum adanya standarisasi RPC di Indonesia, pendekatan SCC menjadi opsi relevan untuk menghasilkan beton yang efisien, kuat, dan mudah diaplikasikan, sehingga menghasilkan beton RPSCC. Penelitian ini mengkaji beton RPSCC dimana variasi kuat tekan rencana adalah 50 MPa dan 60 MPa. Hasil menunjukkan, pada rencana 50 MPa, campuran dengan 10% silica fume berhasil mencapai kuat tekan 55,38 MPa, sedangkan seluruh variasi pada rencana 60 MPa belum memenuhi target. Penambahan 10% silica fume memberikan kinerja optimal, sementara peningkatan kadar menurunkan kuat tekan. Penelitian ini memberikan acuan proporsi silica fume yang optimal untuk RPSCC.

Kata kunci: reactive powder self compacting concrete, silica fume, kuat tekan, beton mutu tinggi

ABSTRACT

The development of infrastructure has driven innovations in high-performance concrete, one of which is Reactive Powder Self-Compacting Concrete (RPSCC). Due to the absence of RPC standardization in Indonesia, the SCC approach is considered a relevant option to produce concrete that is efficient, high-strength, and easy to apply, resulting in RPSCC. This study investigates RPSCC with target compressive strengths of 50 MPa and 60 MPa. The results show that for the 50 MPa target, the mixture with 10% silica fume achieved a compressive strength of 55.38 MPa, while all mixtures for the 60 MPa target failed to meet the required strength. The addition of 10% silica fume provided optimal performance, whereas higher contents reduced compressive strength. This study provides guidance on the optimal silica fume proportion for RPSCC.

Keywords: eactive powder self-compacting concrete, silica fume, compressive strength, high-performance concrete

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Dalam tahun-tahun terakhir, perkembangan infrastruktur mengalami peningkatan yang didorong dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang konstruksi. *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) merupakan salah satu jenis inovasi berupa beton mutu tinggi yang dikembangkan untuk mencapai kuat tekan dengan tingkat porositas yang rendah. Beton RPSCC dapat dicapai melalui eliminasi agregat kasar, penggunaan partikel halus seperti *silica fume*, dan penambahan *superplasticizer* yang akan meningkatkan *workability*. Kombinasi ini akan menghasilkan struktur beton yang rapat, kuat, serta memiliki ketahanan tinggi dari pada beton konvensional.

Namun, hingga saat ini belum ada peraturan maupun standarisasi di Indonesia terkait dengan *Reactive Powder Concrete* (RPC), sehingga pendekatan *Self Compacting Concrete* (SCC) dapat menjadi opsi yang relevan untuk menghasilkan *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC). *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) diharapkan dapat menjadi inovasi dalam perencanaan campuran beton yang tidak hanya memiliki kekuatan dan durabilitas yang tinggi, namun juga mudah untuk diaplikasikan di lapangan. Dengan demikian, penelitian ini berfokus mengenai kajian variasi *silica fume* pada *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) dalam menghasilkan beton mutu ultra tinggi yang lebih efisien, kuat, dan aplikatif terhadap dunia konstruksi modern.

2. METODA PENELITIAN

Penelitian ini mencakup serangkaian pengujian yang meliputi karakteristik material penyusun beton, uji *slump flow* untuk mengukur kemampuan alir (*flowability*) pembuatan sampel dan *curing*. Penyusunan *mix design* mengacu pada Standar Nasional Indonesia 03-2834-2000 tentang Tata Cara Perencanaan Campuran Beton Normal dan Metode Okamura sebagai rasio perbandingan rencana campuran beton pada volume agregat kasar dan volume agregat halus (Standar Nasional Indonesia, 2000) (Okamura & Ouchi, 2003). Seluruh rangkaian pengujian ini bertujuan untuk merancang sebuah *mix design* yang optimal guna menghasilkan beton berkualitas tinggi yang tidak hanya mencapai kuat tekan target, tetapi juga memenuhi kriteria durabilitas dan standar teknis yang ditetapkan dalam pekerjaan konstruksi (Mayhoub et al., 2020).

Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe I (Standar Nasional Indonesia, 2004), *silica fume*, agregat kasar dengan pasir galunggung maksimal 4,75 mm, agregat halus dengan *fly ash* tipe F yang berasal dari PLTU Paiton (Ulva Netalia, 2023), dan penggunaan bahan *admixture superplasticizer* sebanyak 2,25% terhadap berat *powder* (Firmansyah & Nuranita, 2023). Pada penelitian ini juga terdapat variasi kuat tekan rencana yang digunakan yakni kuat tekan rencana 50 MPa dan kuat tekan rencana 60 Mpa (Krisnamurti, Ketut Aswatama, 2011). Dalam kuat tekan rencana tersebut, masing-masing memiliki variasi *silica fume* dengan rasio perbandingan 10%, 15%, dan 20% sebagai substitusi semen.

Pengujian material bertujuan dalam menentukan kelayakan bahan yang akan digunakan. Hasil pengujian ini akan mempengaruhi kualitas akhir material dalam penelitian. Dalam mencapai hasil yang optimal, pemilihan agregat menjadi aspek krusial dalam pembuatan *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC), karena ini akan berdampak langsung pada kualitas beton *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) yang dihasilkan.

Adapun pengujian kelayakan material untuk agregat halus mencakup pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, gradasi agregat, pemeriksaan kandungan lumpur, serta berat isi yang dapat ditinjau pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kualitas Material

Jenis Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Jenis			
a. <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,62 gr/cm ³	2,69 gr/cm ³	2,65 gr/cm ³
b. <i>Bulk Specific Gravity</i> Kondisi Kering	2,37 gr/cm ³	2,35 gr/cm ³	2,36 gr/cm ³
c. <i>Bulk Specific Gravity</i> Kondisi SSD	2,46 gr/cm ³	2,48 gr/cm ³	2,47 gr/cm ³
d. Persentase Penyerapan	4,06%	5,31%	4,68%
Kadar Air	4,82%	5,02%	4,92%
Berat Isi			
a. Berat Isi Padat	1,64 gr/cm ³	1,62 gr/cm ³	1,63 gr/cm ³
b. Berat Isi Gembur	1,54 gr/cm ³	1,52 gr/cm ³	1,53 gr/cm ³
Kadar Lumpur	8,32%	9,15%	8,73%
Analisa Saringan	2,40%	-	2,40%

Berdasarkan **Tabel 1.** didapatkan hasil dimana pada pengujian berat jenis agregat sudah memenuhi spesifikasi, standar yang digunakan pada pengujian berat jenis adalah dengan rentang 1,6 - 3,3 gr/cm³ serta persentase penyerapan harus kurang dari 5% (Standar Nasional Indonesia, 2016). Didapatkan hasil pengujian kadar air agregat sudah memenuhi spesifikasi, standar yang digunakan pada pengujian kadar air agregat adalah dengan rentang 3%-5% (Standar Nasional Indonesia, 2011). Didapatkan hasil pengujian berat isi agregat untuk berat isi padat dan berat isi gembur sudah memenuhi spesifikasi, standar yang digunakan pada pengujian berat isi agregat adalah dengan rentang 1,2 – 1,75 gr/cm³ (Standar Nasional Indonesia, 1998). Didapatkan hasil pengujian analisa saringan agregat sudah memenuhi spesifikasi, standar yang digunakan adalah dengan rentang 1,5%-3,8% (Standar Nasional Indonesia, 1990).

Akan tetapi, terdapat pengujian yang tidak memenuhi spesifikasi sehingga perlu adanya perlakuan khusus. Dimana pada pengujian kadar lumpur didapatkan hasil sebesar 8,73% yang mana melebihi spesifikasi, dimana kadar lumpur maksimalnya yaitu 5% (Standar Nasional Indonesia, 1996). Dikarenakan melebihi batas maksimal spesifikasi, maka pada penelitian ini agregat kasar yang ditempatkan pada lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 100 seraya melakukan tahapan pembersihan menggunakan air mengalir.

Pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui massa jenis material yang digunakan, yaitu semen, *silica fume*, dan *fly ash*. Pengujian berat jenis semen dilakukan secara mandiri dan mendapatkan hasil berat jenis sebesar 3,128 gr/cm³. yang mengacu pada standar dalam metode pengujian berat jenis semen Portland, menyatakan bahwa umumnya semen Portland memiliki berat jenis sebesar 3,10 – 3,16 gr/cm³ (Standar Nasional Indonesia, 2015). Didapatkan hasil pengujian berat jenis *fly ash* sebesar 2,682 gr/cm³, pengujian berat jenis *silica fume* sebesar 2,241 gr/cm³, serta pengujian berat jenis *superplasticizer* sebesar 1,045 gr/cm³.

Pembuatan sampel dibuat sebanyak 18 buah berbentuk silinder dengan ukuran 10 cm x 20 cm. Untuk mengetahui *flowability* dalam beton yang diuji, diperlukannya pengujian *slump flow*. *Slump flow* merupakan pengujian untuk mengetahui kemampuan aliran beton di permukaan secara lateral sehingga menjadi indikator kelecakan beton segar (Standar Nasional Indonesia, 2021). Metode perawatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Water Curing* (perawatan dengan air), yang mana sampel dimasukan ke dalam air (direndam) dengan suhu perawatan yang disesuaikan dengan suhu lingkungan dengan lama perendaman selama 28 Hari (Standar Nasional Indonesia, 2019). Kuat tekan beton adalah beban tekan maksimum per satuan luas yang dapat ditahan oleh suatu benda uji beton yang dibuat dan dirawat sesuai standar, pada saat benda uji tersebut hancur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan nilai kuat tekan terhadap variasi substitusi campuran *silica fume* pada *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC). Hasil kuat tekan beton dapat diperoleh dengan menggunakan *Universal Compression Machine*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proporsi campuran *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) dapat ditinjau pada Tabel 2 dan **Tabel 3** **Error! Reference source not found..**

Tabel 2. Proporsi Beton Kuat Tekan 50 MPa

Campuran Beton	Variasi 1 10% <i>Silica Fume</i> (kg/m ³)	Variasi 2 15% <i>Silica Fume</i> (kg/m ³)	Variasi 3 20% <i>Silica Fume</i> (kg/m ³)
Semen	1.093,775	1.033,009	972,244
<i>Silica Fume</i>	87,068	130,603	174,137
Air	364,592	364,592	364,592
<i>Superplasticizer</i>	27,344	27,344	27,344
<i>Fly Ash</i>	539,311	539,311	539,311
Pasir	608,911	608,911	608,911

Tabel 3. Proporsi Beton Kuat Tekan 60 MPa

Campuran Beton	Variasi 1 10% <i>Silica Fume</i> (kg/m ³)	Variasi 2 15% <i>Silica Fume</i> (kg/m ³)	Variasi 3 20% <i>Silica Fume</i> (kg/m ³)
Semen	1.171,901	1.106,796	1.041,690
<i>Silica Fume</i>	93,288	139,931	186,575
Air	364,592	364,592	364,592
<i>Superplasticizer</i>	29,298	29,298	29,298
<i>Fly Ash</i>	492,049	492,049	492,049
Pasir	602,700	602,700	602,700

Pengujian *slump flow* pada penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia Nomor 9024 Tahun 2021 tentang Cara Uji *Slump Flow* pada Beton Memadat Sendiri. Nilai *slump flow* minimum diameter 500 mm sesuai dengan spesifikasi (Standar Nasional Indonesia, 2021). Berdasarkan hasil *mix design* yang digunakan, nilai *slump flow* pada dapat ditinjau pada **Error! Reference source not found..**

Tabel 4. Hasil Pengujian Slump Flow

Variasi	Kuat Tekan Rencana	Semen	<i>Silica Fume</i>	D.1 (mm)	D. 2 (mm)	Diameter Rata-rata (mm)	Spesifikasi
1	50 MPa	90%	10%	880	740	810	Memenuhi

Tabel 4. Hasil Pengujian Slump Flow

Variasi	Kuat Tekan Rencana	Semen	Silica Fume	D.1 (mm)	D. 2 (mm)	Diameter Rata-rata (mm)	Spesifikasi
2		85%	15%	700	750	725	Memenuhi
3		80%	20%	730	660	695	Memenuhi
4	60 MPa	90%	10%	770	730	750	Memenuhi
5		85%	15%	700	740	720	Memenuhi
6		80%	20%	590	540	565	Memenuhi



Gambar 1. Hasil Pengujian Slump Flow Variasi 1

Dengan demikian pada penelitian ini, pengujian *slump flow* disetiap variasinya sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan sebesar minimum diameter 500 mm. Maka dari itu campuran beton ini dapat dilanjutkan ke proses pembuatan benda uji sebanyak 18 buah (masing-masing sesuai rencana jumlah benda uji).

Metode perawatan benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Water Curing* (Perawatan dengan air), yang mana benda uji dimasukkan ke dalam air (direndam) dengan suhu perawatan yang disesuaikan dengan suhu lingkungan (Standar Nasional Indonesia, 2019). Tujuan dari proses *water curing* untuk *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) ini adalah untuk memastikan bahwa reaksi hidrasi berlangsung dengan optimal. Proses *water curing* sangat krusial untuk *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPC), yang memiliki Faktor Air Semen (FAS) yang sangat rendah, sehingga beton dapat dengan cepat kehilangan kadar air selama proses pengerasan. Adapun perawatan beton dapat ditinjau pada Gambar 2.

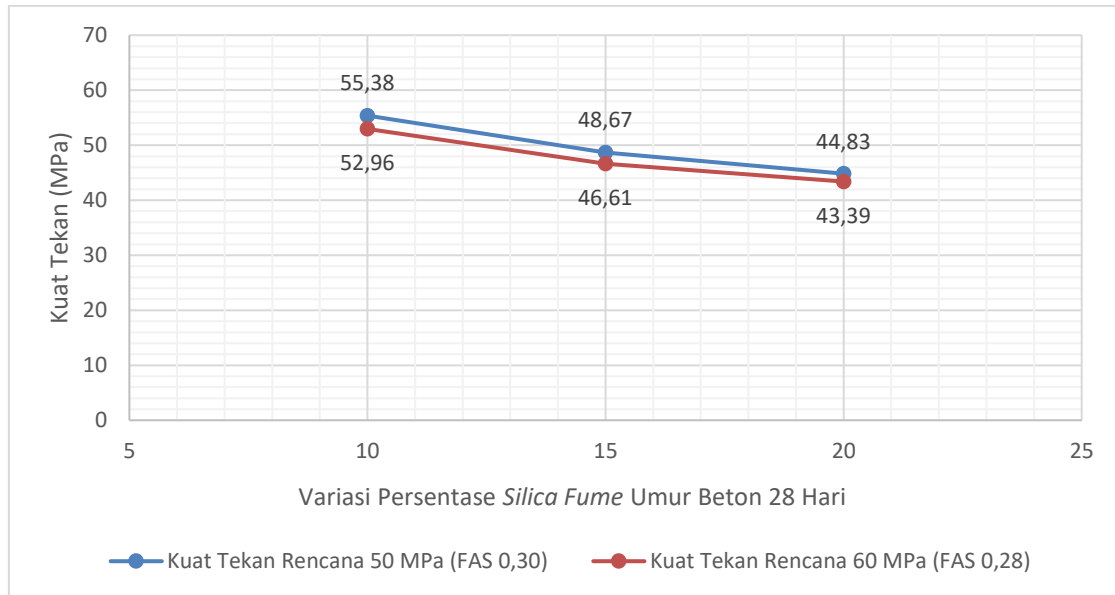


Gambar 2. Perawatan Benda Uji

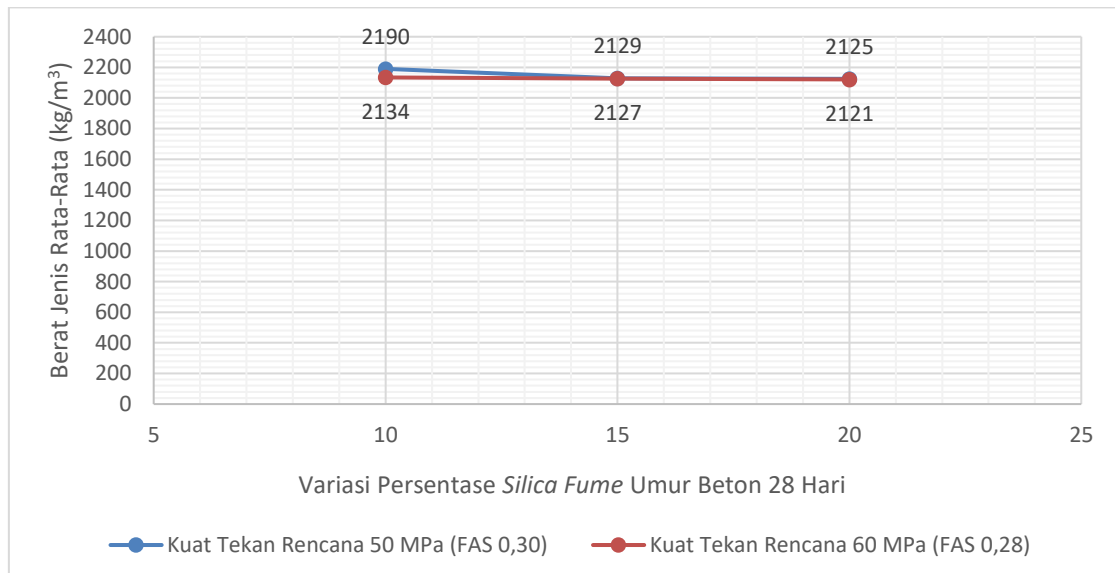
Pada penelitian ini, kuat tekan rencana terbagi atas 2 variasi, yakni kuat tekan 50 MPa dan kuat tekan 60 MPa. Masing-masing kuat tekan rencana tersebut memiliki perbandingan rasio kadar *silica fume* yang dibedakan atas 3 variasi, yakni 10%, 15% dan 20% kadar *silica fume* terhadap kebutuhan *powder*. Setiap variasi akan ditinjau pada umur beton 28 hari sebagai perbandingan hasil kuat tekan aktualnya. Adapun komposisi dari setiap variasi kuat tekan rencana umur beton 28 hari dapat ditinjau pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

Variasi	Kuat Tekan Rencana	Sampel	Berat Beton (gr)	Berat Jenis Rata-rata (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
10% <i>Silica Fume</i>	50 MPa	1	3464	2190	58,56	55,38
		2	3409		52,63	
		3	3442		54,95	
15% <i>Silica Fume</i>		1	3371	2129	49,08	48,67
		2	3329		47,40	
		3	3326		49,53	
20% <i>Silica Fume</i>		1	3325	2125	48,04	44,83
		2	3320		44,36	
		3	3362		42,09	
10% <i>Silica Fume</i>	60 MPa	1	3361	2134	51,10	52,96
		2	3358		54,95	
		3	3334		52,82	
15% <i>Silica Fume</i>		1	3326	2127	46,49	46,61
		2	3336		45,24	
		3	3356		48,09	
20% <i>Silica Fume</i>		1	3299	2121	43,11	43,39
		2	3368		43,28	
		3	3324		43,78	



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Beton terhadap Variasi Persentase Silica Fume



Gambar 4. Perbandingan Berat Jenis Beton terhadap Variasi Persentase Silica Fume

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) untuk variasi kuat tekan beton 50 MPa dan 60 MPa, diperoleh bahwa terlihat adanya pengaruh yang signifikan dari rasio perbandingan *silica fume* terhadap kekuatan beton di umur 28 hari. Terjadi penurunan nilai kuat tekan seiring dengan bertambahnya persentase penggunaan *silica fume* dari 10%, 15%, dan 20%. Pada beton rencana 50 MPa (Gambar 2), nilai kuat tekan tertinggi dicapai pada rasio 10% *silica fume* sebesar 55,38 MPa. Nilai ini kemudian menurun menjadi 48,67 MPa pada rasio 15% *silica fume* dan mencapai titik terendah pada rasio 20% *silica fume* dengan nilai 44,83 MPa. Hal yang sama terjadi pada beton rencana 60 MPa (Gambar 2), hasil pengujian menunjukkan nilai yang lebih rendah dari target rencana.

Kuat tekan tertinggi diperoleh pada rasio 10% *silica fume* sebesar 52,96 MPa, diikuti oleh rasio 15% *silica fume* sebesar 46,61 MPa, dan rasio 20% *silica fume* sebesar 43,39 MPa. Dimana hasil berat jenis beton relatif seragam, baik untuk kuat tekan rencana 50 MPa maupun 60 MPa.

Penurunan kuat tekan pada beton rencana 60 MPa terjadi akibat persentase volume agregat kasar lebih sedikit dibanding dengan rasio persentase volume agregat kasar pada beton rencana 50 MPa. Pada beton rencana 60 MPa hanya menggunakan 34% volume agregat kasar, sedangkan pada beton rencana 50 MPa menggunakan 35% volume agregat kasar yang berdampak terjadinya penurunan kuat tekan aktual pada umur beton 28 hari. Sehingga perlu adanya peninjauan kembali mengenai penyesuaian rasio persentase volume agregat kasar terhadap volume solid sesuai dengan konsep metode okamura.

Meskipun *silica fume* dikenal memiliki sifat *pozzolan* yang tinggi untuk mengisi rongga antar partikel semen, penggunaan yang berlebihan dapat berpotensi menimbulkan rongga udara di dalam beton yang justru menurunkan densitas dan kekuatan tekan akhirnya. Penggunaan *silica fume* yang semakin banyak mempengaruhi kekentalan campuran beton itu sendiri, dapat dibuktikan dengan nilai *slump flow* yang semakin kecil seiring dengan penambahan persentase penggunaan *silica fume*. Sehingga campuran yang terlalu kental membuat udara yang terperangkap sulit untuk keluar (pecah) sebelum beton mengeras yang menyebabkan banyaknya rongga udara saat beton mengeras.

Analisis terhadap hasil pengujian tidak hanya bertumpu pada data yang telah diperhitungkan saja, namun juga didukung oleh tampak visual campuran beton pada umur 28 hari. Melalui pengamatan, didapatkan hasil berupa keberadaan rongga udara yang lebih dominan pada campuran beton dengan kuat tekan rencana 60 MPa dibandingkan dengan campuran beton kuat tekan rencana 50 MPa. Hal tersebutlah yang menjadi salah satu faktor penurunan kuat tekan aktual, sehingga beban maksimum yang dipikul oleh beton tidak dapat terdistribusi dengan baik yang kemudian berdampak pada kondisi pola runtuh beton. Dapat ditinjau pola runtuh pada kuat tekan rencana 50 MPa menghasilkan pola yang baik dengan tipe kerucut (*cone failure*). Hanya saja, pada kuat tekan rencana 60 MPa menghasilkan pola runtuh kurang baik karena masih adanya sebagian sisi beton yang tidak mengalami keruntuhan secara merata atau tidak simetris.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai kajian variasi *silica fume* pada *Reactive Powder Self Compacting Concrete* (RPSCC) menggunakan variasi kuat tekan rencana 50 MPa dan 60 MPa serta tinjauan pengaruh rasio perbandingan *silica fume* terhadap kebutuhan berat *powder* yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hanya kuat tekan rencana 50 MPa dengan rasio 10% *silica fume* yang dapat mencapai target dengan nilai 55,38 MPa. Sementara pada kuat tekan rencana 60 MPa, seluruh persentase *silica fume* (10%, 15%, dan 20%) belum mampu memenuhi kuat tekan rencana yang ditetapkan. Penambahan *silica fume* sebesar 10% memberikan hasil tertinggi pada kedua variasi rencana (50 MPa dan 60 MPa). Sebaliknya, peningkatan dosis hingga 15% dan 20% secara konsisten menurunkan kuat tekan beton.

DAFTAR RUJUKAN

- Firmansyah, R. M. N., & Nuranita, B. (2023). *Studi Penggunaan Beton RPC Menggunakan Bahan Tambah Sika Viscocrete* 10. 547–550.
<https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/2617>
- Krisnamurti, Ketut Aswatama, S. A. (2011). *Perilaku Mekanis Beton HPC (High Performance Concrete) Yang Dipengaruhi Oleh Silica Fume Dan Fly Ash*. 94–108.
https://www.researchgate.net/publication/316548574_Perilaku_mekanis_beton_HPC_High_Performance_Concrete_yang_dipengaruhi_oleh_silica_fume_dan_Fly_Ash

- Mayhoub, O. A., Nasr, E. A. R., Ali, Y. A., Kohail, M., & Ash, F. (2020). The Influence of Ingredients On The Properties of Reactive Powder Concrete: A review. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.016>
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15. https://www.j-act.org/headers/1_5.pdf
- Standar Nasional Indonesia. (1990). *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-1990)*. Badan Standarisasi Nasional. https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/644/preview_644-1-5.pdf
- Standar Nasional Indonesia. (1996). *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075) (SNI 03-4142-1996)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://imsippoliban.files.wordpress.com/2016/03/sni-03-4142-1996.pdf>
- Standar Nasional Indonesia. (1998). *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat (SNI 03-4804-1998)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://id.scribd.com/document/356683385/SNI-03-4804-1998-metode-pengujian-berat-isi-dan-rongga-udara-dalam-agregat-pdf>
- Standar Nasional Indonesia. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://repository.unikom.ac.id/64987/1/sni-03-2834-2000.pdf>
- Standar Nasional Indonesia. (2004). *Semen Portland (SNI 15-2049-2004)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://id.scribd.com/doc/90141219/SNI-15-2049-2004>
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan (SNI 1971:2011)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/655/sni-1971-2011-cara-uji-kadar-air-total-agregat-dengan-pengeringan.pdf>
- Standar Nasional Indonesia. (2015). *Metode Uji Densitas Semen Hidraulis (SNI 2531:2015)*. Badan Standarisasi Nasional. https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/339/preview_339-1-5.pdf
- Standar Nasional Indonesia. (2016). *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 1969:2016)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/sni-1969-2016-cara-uji-berat-jenis-dan-penyerapan-air-agregat-kasar>
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://lmsspada.kemdiktisaintek.go.id/mod/resource/view.php?id=76294&forceview=1>
- Standar Nasional Indonesia. (2021). *Cara Uji Slump Flow pada Beton Memadat Sendiri (SNI 9024:2021)*. Badan Standarisasi Nasional. https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/1934/preview_1934-1-5.pdf
- Ulva Netalia. (2023). *Analisa Pengaruh Limbah Fly Ash Dan Battom Ash (Faba) Sebagai Pengganti Semen Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton*. 8, 21–26. <https://doi.org/10.35134/jcivil.v8i2.60>