

## KAJIAN SERAPAN CO<sub>2</sub> PADA BETON BUBUK REAKTIF DENGAN VARIASI KOMPOSISI SILICA FUME

Wibowo<sup>1)</sup>, Halwan Alfisa Saifullah<sup>2)</sup>, Bela Putri Alifyya<sup>3)</sup>

<sup>1),2)</sup> Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>3)</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36 A, Kientingan Surakarta 57126. Telp (0271)647069. Fax 662118

Email: [belaputrialfifyya02@gmail.com](mailto:belaputrialfifyya02@gmail.com)

### Abstract

Infrastructure development in Indonesia is growing rapidly, followed by increasing demand for concrete. Concrete is the most widely utilized construction material globally, not only for land-based buildings but also for water-based buildings. The quality and durability of concrete are important factors that must be considered. Throughout their service life, concrete structures must withstand the applied loads and aggressive environmental attacks. The number of pores in concrete affects the durability of concrete. The increasing number of pores in concrete increases permeability and absorption, resulting in decreased compressive strength and durability. Reactive Powder Concrete is a type of concrete made by microstructural improvement techniques such as coarse aggregate removal, water-cement ratio reduction, and the addition of pozzolanic material. Silica fume is a very small pozzolanic material that can fill voids in the concrete mixture and reduce the pore size in the cement paste, thereby reducing the permeability of the concrete. This research aims to experimentally determine the effect of substitution silica fume (with variations of 0%; 5%; 10%; 15%; 20%, and 25%) on the CO<sub>2</sub> absorption value of the reactive powder concrete. A total number of 18 concrete cylindrical specimens with a height of 15 cm and a diameter of 7,5 cm were prepared and tested in this study. The CO<sub>2</sub> absorption test was carried out by immersing the specimens into a 4% carbonate solution for 10+0,5 minutes and 24 hours, then weighing the specimens in SSD condition and comparing them with their dry oven weight. The research results indicate that the addition of silica fume and the utilization of low water-cement ratios cause the permeability to decrease so that the CO<sub>2</sub> absorption value decreases. The lowest CO<sub>2</sub> absorption value is at 15% silica fume substitution, reducing concrete absorption up to 83,57% in immersion for 10+0,5 minutes and reducing concrete absorption up to 71,76% in immersion for 24 hours.

**Keywords:** Reactive powder concrete, durability, permeability, absorption, silica fume

### Abstrak

Pembangunan infrastruktur di Indonesia saat ini berkembang pesat diikuti dengan meningkatnya kebutuhan beton. Beton merupakan komponen struktur yang dominan dalam konstruksi. Penggunaan beton dalam dunia konstruksi tidak hanya digunakan pada bangunan di darat tetapi juga pada bangunan air. Mutu dan durabilitas beton menjadi faktor penting yang harus diperhatikan. Beton dituntut memiliki kemampuan untuk bertahan pada kondisi dimanapun selama jangka waktu yang telah direncanakan. Jumlah pori pada beton mempengaruhi durabilitas beton. Jumlah pori yang semakin banyak pada beton menyebabkan permeabilitas dan serapan meningkat sehingga menyebabkan kuat tekan dan durabilitas menurun. Beton Bubuk Reaktif adalah beton yang dikembangkan menggunakan teknik perbaikan mikrostruktur dengan menghilangkan agregat kasar, menurunkan rasio air semen dan menambahkan material pozzolan. *Silica fume* merupakan material pozzolan yang berukuran sangat kecil yang dapat mengisi rongga dalam campuran beton dan akan memperkecil ukuran pori dalam pasta semen, sehingga dapat mengurangi permeabilitas beton. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi variasi *silica fume* 0%; 5%; 10%; 15%; 20% dan 25% pada beton bubuk reaktif terhadap nilai serapan CO<sub>2</sub>. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan benda uji beton silinder berukuran tinggi 15 cm dan diameter 7,5 cm dan berjumlah 18 buah. Pengujian serapan CO<sub>2</sub> dilakukan dengan cara merendam benda uji ke dalam larutan karbonat 4% selama 10+0,5 menit dan 24 jam kemudian menimbang benda uji dalam keadaan SSD dan membandingkan dengan berat kering ovennya. Hasil dari penelitian ini adalah penambahan *silica fume* dan penggunaan faktor air semen yang rendah menyebabkan permeabilitas menurun sehingga nilai serapan CO<sub>2</sub> menurun. Nilai serapan CO<sub>2</sub> terendah yaitu pada kadar substitusi *silica fume* 15%, dimana dapat menurunkan serapan beton hingga 83,57% dalam perendaman selama 10+0,5 menit dan menurunkan serapan beton hingga 71,76% dalam perendaman selama 24 jam.

**Kata Kunci:** Beton bubuk reaktif, durabilitas, permeabilitas, serapan, *silica fume*

### PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang gencar dilakukan diantaranya yaitu jalan tol, gedung tinggi, jembatan, bendungan dan lain-lain. Pembangunan ini tak terlepas dari penggunaan beton. Penggunaan beton dalam dunia konstruksi sangat dominan dikarenakan beton memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan material lain. Kelebihan beton diantaranya yaitu memiliki kuat tekan tinggi, bahan baku mudah didapat, tahan terhadap temperatur tinggi, durabilitas tinggi dan mudah dibentuk sesuai kebutuhan. Durabilitas merupakan faktor penting selain

mutu beton yang harus diperhatikan. Pori-pori pada beton akan mempengaruhi durabilitas beton. Jumlah pori yang semakin banyak pada beton menyebabkan permeabilitas meningkat sehingga kekuatan dan durabilitas beton menurun. Jumlah pori pada beton perlu diperhatikan untuk mengurangi resiko kerusakan beton. Upaya perbaikan beton dilakukan dengan menciptakan beton tanpa agregat kasar atau beton bubuk reaktif dengan menggunakan bahan tambah *silica fume*. Komponen penyusun *Reactive Powder Concrete* (RPC) berupa partikel berukuran nanometer seperti semen, pasir alam, pasir kuarsa (*quartz sand*), *silica fume*, air, *superplasticizer* dan *steel fibers*. Penghilangan agregat kasar pada beton *Reactive Powder Concrete* (RPC) dengan tujuan untuk mencapai homogenitas dalam campuran beton. Partikel agregat yang sangat kecil akan menjadikan campuran sangat padat dan homogen sehingga dapat menghasilkan beton dengan mutu tinggi. Berdasarkan penelitian Partogi (2017), penambahan material pozzolan *silica fume* pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton dan durabilitas beton seiring dengan peningkatan persentase *silica fume*. *Silica fume* adalah pozzolan dengan kandungan senyawa silika tinggi dan berukuran sangat kecil yang berfungsi sebagai pengisi (*filler*) dalam beton, sehingga pori-pori pada beton akan terisi oleh serbuk *silica fume* dan menghasilkan campuran beton yang lebih homogen dan sangat padat.

## LANDASAN TEORI

*Ultra High Performance Concrete* (UHPC) adalah teknologi beton baru yang memiliki sifat mekanik superior dalam hal kuat tekan, kuat lentur, daktilitas dan daya tahan yang tinggi. Beton jenis ini memiliki kualitas yang sangat baik yaitu porositas rendah dan kuat tekan dari 50 MPa – 250 MPa (Mohammed *et.al.*, 2016).

*Reactive Powder Concrete* (RPC) adalah salah satu jenis *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) yang dikembangkan menggunakan teknik perbaikan mikrostruktur pada material (Masdar, 2015). Perbaikan sifat mekanik RPC dilakukan dengan pendekatan rekayasa mikrostruktur, termasuk menghilangkan agregat kasar, menurunkan rasio air semen, dan mengurangi kandungan CaOSiO (Saloma, 2019).

Menurut Jackson dan Dhir (1996), durabilitas beton adalah ketahanan beton terhadap proses yang dapat menyebabkan beton rusak. Kerusakan pada beton terjadi karena adanya interaksi antara material beton dengan bahan pencemar dari lingkungan luar yang terpenetrasi ke dalam beton. Proses masuknya bahan-bahan perusak beton dapat melalui beberapa proses sebagai berikut :

- a. Absorpsi (Penyerapan)  
Absorpsi (penyerapan) adalah proses masuknya zat cair melalui pori-pori yang terdapat pada beton. Zat cair ini dapat masuk karena dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu tegangan permukaan, kekentalan dan massa jenis. Aliran ini juga dipengaruhi oleh faktor lain berupa struktur pori dan *surface energy*.
- b. Difusi (Pembauran)  
Difusi (pembauran) adalah peristiwa berpindah atau mengalirnya suatu zat dari konsentrasi tinggi ke bagian konsentrasi rendah. Perbedaan konsentrasi pada cairan, gas, maupun ion yang membuat perpindahan zat.
- c. Permeabilitas  
Permeabilitas adalah proses masuknya cairan maupun gas ke dalam beton karena adanya tekanan yang berbeda.

Menurut Joseph F. Lamond, serapan merupakan proses meresapnya zat cair ke dalam beton melewati pori-pori yang terdapat pada beton. Serapan dapat diartikan juga dengan perbandingan antara berat sampel beton dalam keadaan kering oven (kering permukaan dan kering dalam) dengan berat beton dalam keadaan SSD (kering permukaan). Nilai serapan adalah nilai dari besarnya cairan yang dapat masuk melalui pori-pori beton yang dinyatakan dalam bentuk persentase.

Berdasarkan SNI 03-2914-1992, beton kedap air adalah beton yang memiliki kemampuan tidak dapat dilewati zat cair. Beton dapat dikatakan kedap air apabila memiliki nilai serapan maksimum 2,5% terhadap berat kering oven pada perendaman didalam air selama 10+0,5 menit dan memiliki nilai serapan maksimum 6,5% terhadap berat kering oven pada perendaman didalam air selama 24 jam.

Penggunaan *silica fume* yang berukuran sangat halus dapat menghasilkan campuran beton dengan susunan mikrostruktur yang sangat padat dan lebih homogen (Masdar, 2019). *Silica fume* secara kimia mengandung unsur SiO<sub>2</sub> yang tinggi dan secara fisik mempunyai tekstur yang lebih halus dari pada semen sehingga dapat mengurangi jumlah pori, meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton apabila *silica fume* digunakan sebagai bahan tambah pada beton (Azwar *et.al.*, 2016).

Serapan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) adalah kemampuan beton untuk menyerap karbondioksida yang larut dalam air, sehingga karbondioksida tersebut dapat masuk ke dalam beton. Pengujian serapan CO<sub>2</sub> dilakukan dengan menggunakan larutan karbonat konsentrasi 4%. Durabilitas beton dapat diukur dengan pengujian permeabilitas yaitu kemampuan air atau zat lain untuk dapat memasuki beton. Beton dengan porositas dan permeabilitas yang tinggi sangat rentan mengalami kerusakan karena beton dapat meloloskan zat-zat yang dapat merusak beton sehingga durabilitas beton akan menurun (Delista, 2020).

Menurut SNI 03-6433- 2000, persentase serapan CO<sub>2</sub> pada pengujian serapan beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) :

$$\text{SerapanCO}_2 = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% \dots\dots\dots [1]$$

dengan :

W = Berat beton pada kondisi SSD (kering permukaan)

W<sub>k</sub> = Berat beton pada kondisi kering oven

Menurut Edward J. Garboczi (1995), faktor yang mempengaruhi serapan pada beton yaitu sebagai berikut :

1. Sistem Pori

Besarnya nilai serapan pada beton dipengaruhi oleh adanya pori. Nilai serapan bernilai tinggi apabila pori-pori yang terdapat pada beton berjumlah banyak, begitu pula sebaliknya. Menurut Ollivier (1995), hal-hal yang menyebabkan munculnya pori pada beton adalah sebagai berikut :

a. Pori pada Agregat

Pori pada agregat adalah rongga yang terbentuk karena adanya udara dalam campuran beton pada saat pembentukannya. Penggunaan agregat pada campuran beton sangat dominan yaitu antara 60% -70% dari volume beton, sehingga sangat memungkinkan terjadi porositas pada beton karena penggunaan agregat yang berjumlah banyak (Tjokrodimuljo,1996).

b. Pori pada Pasta Semen

Pori pada pasta semen adalah rongga atau lubang kecil dalam pasta semen yang terjadi karena adanya udara yang terjebak selama atau sesudah pembuatan (Tjokrodimuljo, 1996).

c. Pori pada Zona Transisi

Pori pada zona transisi memiliki ukuran pori yang besar dan porositas kapiler yang tinggi. Pembentukan pori pada zona transisi ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu pengadukan yang tidak sempurna, tingkat pemadatan yang buruk, pemberian bahan tambah, interaksi kimia antara agregat dan pasta, dan karakteristik *bleeding* (Ollivier, 1995).

2. Konektivitas

Besarnya nilai serapan dapat ditentukan juga dari hubungan antar pori, hal ini dijelaskan berdasarkan *Tube Theory*, yaitu :

a. Tabung dengan diameter besar memiliki kemampuan mengalirkan air lebih tinggi daripada tabung dengan diameter kecil.

b. Tabung yang tertutup tidak memiliki kemampuan dalam mengalirkan air.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Benda uji yang digunakan pada pengujian serapan CO<sub>2</sub> yaitu beton silinder dengan tinggi 15 cm dan diameter 7,5 cm berjumlah 18 buah. Pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari. Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Struktur dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode penelitian ini yaitu pengujian bahan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji, pembuatan benda uji, perawatan water curing, dan setelah beton berumur 28 hari dilakukan pengujian serapan CO<sub>2</sub>. Data yang diperoleh dari pengujian selanjutnya dilakukan analisis menggunakan Microsoft Office Excel.

### Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian agregat halus terdiri dari uji kandungan lumpur, kandungan zat organik, *specific gravity* dan gradasi. Pengujian *silica fume* dilakukan di Laboratorium MIPA Terpadu Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan analisis jenis *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa kimia yang terdapat pada *silica fume*.

### Pengujian Parameter Beton Bubuk Reaktif

Parameter yang digunakan dalam pengujian beton bubuk reaktif adalah *filling ability* yang diuji melalui pengujian *flow table*. Pengujian *flow table* yaitu meliputi pengujian besarnya diameter sebaran yang dicapai oleh beton segar (d) dan pengujian waktu yang diperlukan beton mencapai diameter maksimumnya (I).

### Pengujian Serapan CO<sub>2</sub> Beton

Pengujian serapan CO<sub>2</sub> pada beton dilakukan dengan menghitung persentase CO<sub>2</sub> yang terserap ke dalam beton. Nilai tersebut didapat dengan membandingkan berat sampel beton dalam keadaan kering oven (kering permukaan dan kering dalam) dengan berat beton dalam keadaan SSD (kering permukaan). Keadaan kering oven didapat dengan mengeringkan benda uji dengan cara dioven selama 24 jam pada suhu 100°C. Keadaan SSD (kering permukaan) didapat dengan cara merendam benda uji ke dalam larutan karbonat 4% selama 10+0,5 menit dan 24 jam, kemudian permukaan beton dikeringkan dengan cara dilap. Berat beton kering oven dan berat beton SSD dalam satuan kilogram (kg) dan kemudian dianalisis menggunakan persamaan (1) untuk mendapatkan persentase serapan CO<sub>2</sub>.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus meliputi pengujian *specific gravity*, kandungan lumpur, gradasi dan kandungan zat organik. Hasil dari pengujian agregat halus disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Pasir Alam	Pasir Kuarsa	Standar	Kesimpulan
<i>Absorption</i>	3,07%	2,15%	-	-
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,73	2,65	-	-
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,52	2,50	-	-
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,60	2,56	2,5 - 2,7 ASTM C.128-79	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	2,70%	0,50%	< 5% PBI 1971, ASTM C.117	Memenuhi Syarat
Kandungan Zat Organik	Coklat Kemerahan	Kuning Kemerahan	PBI 1971, ASTM C.40	Memenuhi Syarat
Modulus Kehalusan	2,73	3,08	2,3 - 3,1 ASTM C.33-97	Memenuhi Syarat

Hasil pengujian XRF *silica fume* yaitu kandungan SiO<sub>2</sub> pada *silica fume* sebesar 85,76 % dimana telah memenuhi syarat menurut ASTM C-1240 yaitu kandungan SiO<sub>2</sub> lebih dari 85%.

### Perancangan *Mix Design*

Rancang campuran adukan atau *mix design* beton bubuk reaktif dengan variasi penambahan *silica fume* dipilih berdasarkan penelitian P. Richard and M. Cheyrezy pada tahun 1995. Mengacu pada penelitian P. Richard and M. Cheyrezy (1995) dan trial sebelum dilakukan penelitian, *superplasticizer* yang digunakan sebanyak 1,9% dan faktor air semen sebesar 0,19 dari berat *binder*. Rincian perhitungan rancang campuran beton disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi rancang campuran (*mix design*) beton bubuk reaktif

Kode Benda Uji	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Silica fume</i> (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir Kuarsa (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Steel Fiber</i> (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Super plasticizer</i> (lt/m <sup>3</sup> )	Air (lt/m <sup>3</sup> )
RPC SF- 0%	800	0	1045	370,5	11,5	7,70	152
RPC SF- 5%	760	40	1045	370,5	11,5	7,70	152
RPC SF- 10%	720	80	1045	370,5	11,5	7,70	152

Kode Benda Uji	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Silica fume (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir Kuarsa (kg/m <sup>3</sup> )	Steel Fiber (kg/m <sup>3</sup> )	Super plasticizer (lt/m <sup>3</sup> )	Air (lt/m <sup>3</sup> )
RPC SF- 15%	680	120	1045	370,5	11,5	7,70	152
RPC SF- 20%	640	160	1045	370,5	11,5	7,70	152
RPC SF- 25%	600	200	1045	370,5	11,5	7,70	152

### Hasil Pengujian Berat Jenis Beton

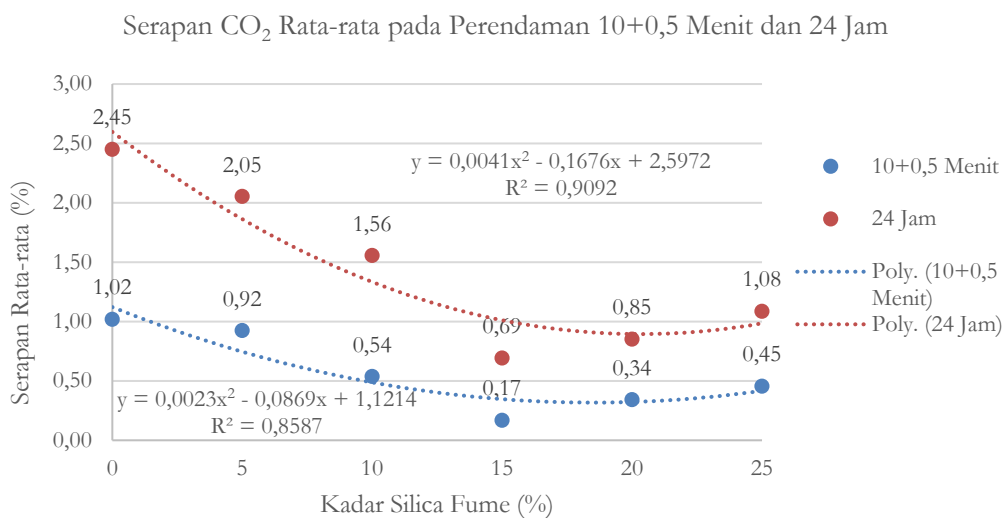
Berdasarkan SNI 03-2847- 2002, benda uji untuk pengujian serapan CO<sub>2</sub> termasuk kedalam beton normal yaitu beton yang mempunyai berat jenis antara 2,2 gr/cm<sup>3</sup> sampai 2,5 gr/cm<sup>3</sup>.

### Hasil Pengujian Serapan CO<sub>2</sub> Beton

Benda uji yang digunakan pada pengujian serapan CO<sub>2</sub> yaitu beton silinder dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm dan berumur 28 hari. Uji serapan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya serap larutan karbonat 4% pada beton. Penelitian ini berdasarkan pada SNI 03-2914-1992 dimana nilai serapan pada beton maksimum 2,5% dari berat kering oven untuk perendaman 10 + 0,5 menit dan maksimum 6,5% dari berat kering oven untuk perendaman selama 24 jam. Hasil pengujian serapan CO<sub>2</sub> pada RPC selama perendaman 10+0,5 menit dan perendaman 24 jam disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Serapan CO<sub>2</sub> rata-rata pada perendaman 10+0,5 menit dan 24 jam

Kadar Silica Fume	Waktu Perendaman 10+0,5 Menit	Syarat	Waktu Perendaman 24 Jam	Syarat	Kesimpulan
Serapan SF- 0%	1,02	≤ 2,5% berat kering oven SNI 03-2914-1992	2,45	≤ 6,5% berat kering oven SNI 03-2914-1992	Memenuhi Syarat
Serapan SF- 5%	0,92		2,05		Memenuhi Syarat
Serapan SF - 10%	0,54		1,56		Memenuhi Syarat
Serapan SF- 15%	0,17		0,69		Memenuhi Syarat
Serapan SF - 20%	0,34		0,85		Memenuhi Syarat
Serapan SF - 25%	0,45		1,08		Memenuhi Syarat



Gambar 1. Grafik serapan CO<sub>2</sub> rata-rata pada perendaman 10+0,5 menit dan 24 jam

Berdasarkan Tabel 3. dan Gambar 1. dapat dilihat bahwa semua nilai serapan larutan CO<sub>2</sub> 4% memenuhi standar serapan pada beton berdasarkan SNI 03-2914-1992 yaitu berat beton setelah direndam selama 10+0,5 menit dan



24 jam berturut turut tidak lebih dari 2,5% dan 6,5% dari berat beton kering oven. Berdasarkan hasil pegujian serapan, dapat diketahui serapan CO<sub>2</sub> beton akan semakin turun dengan mensubstitusi semen dengan *silica fume* pada kadar 5%, 10%, dan 15% kemudian nilai serapan meningkat pada kadar substitusi 20% dan 25%.

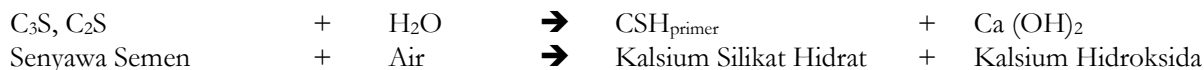
Substitusi *silica fume* akan menurunkan serapan beton pada penambahan *silica fume* pada kadar tertentu. Beton normal tanpa substitusi *silica fume* diperoleh nilai serapan larutan CO<sub>2</sub> pada perendaman 10+0,5 menit sebesar 1,02% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam sebesar 2,45% dari berat kering oven. Substitusi semen dengan *silica fume* dengan kadar 5% diperoleh nilai serapan larutan CO<sub>2</sub> pada perendaman 10+0,5 menit sebesar 0,92% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam sebesar 2,05% dari berat kering oven, dimana pada kadar substitusi ini nilai serapan CO<sub>2</sub> mengalami penurunan. Nilai serapan CO<sub>2</sub> menurun lagi pada substitusi semen dengan *silica fume* dengan kadar 10% dengan nilai serapan larutan CO<sub>2</sub> pada perendaman 10+0,5 menit sebesar 0,54% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam sebesar 1,56% dari berat kering oven. Substitusi semen dengan *silica fume* dengan kadar 15% diperoleh nilai serapan larutan CO<sub>2</sub> pada perendaman 10+0,5 menit sebesar 0,17% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam sebesar 0,69% dari berat kering oven, dimana pada kadar substitusi 15% menghasilkan nilai serapan CO<sub>2</sub> terendah. Nilai serapan CO<sub>2</sub> mengalami peningkatan pada substitusi semen dengan *silica fume* dengan kadar 20% yaitu diperoleh nilai serapan larutan CO<sub>2</sub> pada perendaman 10+0,5 menit sebesar 0,34% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam sebesar 0,85% dari berat kering oven. Substitusi semen dengan *silica fume* dengan kadar 25% mengalami peningkatan nilai serapan CO<sub>2</sub> yaitu diperoleh nilai serapan larutan CO<sub>2</sub> pada perendaman 10+0,5 menit sebesar 0,45% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam sebesar 1,08% dari berat kering oven.

Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa substitusi *silica fume* untuk mencapai nilai serapan terendah dalam penelitian ini adalah substitusi *silica fume* dengan kadar 15% dari berat semen. Substitusi semen dengan *silica fume* 15% dapat menurunkan serapan beton hingga 83,57% dalam perendaman selama 10+0,5 menit dan menurunkan serapan beton hingga 71,76% dalam perendaman selama 24 jam.

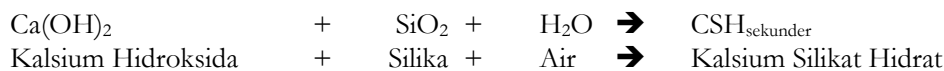
Serapan CO<sub>2</sub> terjadi apabila terdapat pori-pori pada beton sehingga zat cair dapat masuk melalui pori-pori beton. *Silica fume* yang digunakan pada penelitian ini dapat menurunkan nilai serapan CO<sub>2</sub> pada beton karena adanya reaksi pozzolanik pada *silica fume*. *Silica fume* mengandung silika (SiO<sub>2</sub>) yang akan bereaksi secara kimia dengan senyawa hasil hidrasi semen Ca(OH)<sub>2</sub> dan menghasilkan CSH (Calcium Silicat Hydrate) yang mempunyai sifat perekat sehingga dapat meningkatkan daya rekat antar agregat dan kuat tekan pada beton. *Silica fume* merupakan partikel kecil yang berfungsi sebagai *filler* (pengisi) yang mengisi rongga-rongga kapiler pada beton dan akan memperkecil ukuran pori dalam pasta semen, sehingga dapat mengurangi permeabilitas beton secara substansial.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sarika *et al.* (2015), pozzolan yang terkandung dalam *silica fume* bersifat sangat reaktif sehingga merupakan komponen penting untuk campuran beton RPC. Penambahan *silica fume* ke beton RPC diperlukan untuk mengubah rasio Ca(OH)<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub> menjadi CSH sekunder yang berfungsi sebagai pengikat. *Silica fume* mengandung silika sangat tinggi dan tidak memiliki sifat semen akan tetapi apabila *silica fume* bereaksi dengan Ca(OH)<sub>2</sub> akan terbentuk senyawa yang bersifat seperti semen. Reaksi pozzolanik pada *silica fume* adalah sebagai berikut :

Reaksi Hidrasi Semen :



Reaksi Pozzolanik :



Penambahan *silica fume* pada beton akan mengisi pori-pori dalam campuran beton dan meningkatkan daya rekat antar agregat, sehingga jumlah pori-pori pada beton berkurang dan impermeabilitas beton meningkat. Pori-pori pada beton yang terisi oleh *silica fume* maka konektivitas antar pori akan tertutup, sehingga kemampuan beton untuk menyerap zat cair berkurang.

Penambahan *silica fume* yang melebihi batas optimumnya dapat mengakibatkan peningkatan nilai serapan. Hal ini dikarenakan *silica fume* dalam jumlah banyak akan mengurangi jumlah semen yang merupakan bahan pengikat dalam campuran beton. Berkurangnya jumlah semen akan berakibat pada reaksi hidrasi antara semen dan *silica fume* terjadi

tidak optimal. Selain itu, semakin banyak *silica fume* yang digunakan maka semakin banyak pula air yang akan terserap pada *silica fume* karena luas permukaan yang semakin banyak, sehingga *workability* rendah dan dapat meningkatkan porositas pada beton.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Semua nilai serapan CO<sub>2</sub> telah memenuhi standar serapan berdasarkan SNI 03-2914-1992 yaitu berat beton setelah perendaman selama 10+0,5 menit dan 24 jam berturut turut tidak lebih dari 2,5% dan 6,5% dari berat beton kering oven.
2. Penambahan variasi *silica fume* dapat menurunkan nilai serapan CO<sub>2</sub> hingga batas optimumnya.
3. Nilai serapan terendah didapat pada kadar substitusi *silica fume* sebesar 15% dari berat semen, substitusi tersebut dapat menurunkan nilai serapan CO<sub>2</sub> sebesar 83,57% pada waktu perendaman 10+0,5 menit dan 71,76% pada waktu perendaman 24 jam dari beton normal.
4. Penggunaan zat aditif *silica fume* pada campuran beton RPC dapat mengurangi jumlah pori pada beton karena sifat dari *silica fume* sebagai *filler effect* dimana serbuk silica fume akan mengisi pori-pori pada beton. Jumlah pori berkurang maka permeabilitas dan serapan beton juga berkurang sehingga kuat tekan dan durabilitas beton meningkat.
5. Penambahan *silica fume* yang melebihi batas optimumnya dapat mengakibatkan peningkatan nilai serapan. Semakin banyak kadar *silica fume* yang digunakan akan membuat beton menjadi lebih kental karena *silica fume* yang bersifat seperti lempung lebih mudah untuk menyerap air dari pada semen sehingga menurunkan *workability* beton segar.

## REFERENSI

- Annas, Azwar., Ekaputri, Januarti Jaya., Triwulan, 2016, "Pemanfaatan Mikrobakteri terhadap Beton Mutu Tinggi dengan Tambahan Silica Fume", *Jurnal Teknik ITS*, Vol 5 No1, pp. 19-24
- Deni, Delista Putri., Wibowo., & Safitri, Endah., 2020, "Kajian Serapan CO<sub>2</sub> dan Karbonasi pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Variasi Komposisi Metakaolin", *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, Vol. 4 No. 1, pp. 8-11
- Helmi, Masdar., Widyawati, Ratna., Irianti, Laksmi., Annisa, Mufidah A., 2019, "Sifat Mekanik Beton Reaktif yang Menggunakan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Sebagian Semen dan Perlakuan Perawatan Panas (Heat Curing)", *Seminar Nasional Inovasi, Teknologi dan Aplikasi*, SeNITiA, Universitas Bengkulu, 17 Oktober 2019, Bengkulu.
- Jackson and Dhir, R.K, 1996, "Near-Surface Characteristics Of Concrete Permeability", *Magazine of Concrete Research*.
- Richard, P., and Cheyrezy, M., 1995, "Composition of Reactive Powder Concretes", *Cement and Concrete Research*. Vol. 25 No.7, pp. 1501-1511.
- Saloma, Hanafiah., Agistin Veriza., 2019, "Mechanical Properties Analysis of Reactive Powder Concrete with Curing Temperature Variation", *Sriwijaya international Conference on Science, Engineering, and Technology*, Sriwijaya University, 2019, Indonesia.
- Simatupang, Partogi H., Judi K. Nasjono, Kresensia G. Mite, 2017, "Pengaruh Penambahan Silica Fume terhadap Kuat Tekan Reactive Powder Concrete", *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. VI No. 2 Sep.
- Standar Nasional Indonesia, 1992, "(SNI) 03-2914-1992: Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air".