

# Perancangan Campuran *Self Compacted Concrete* Berdasarkan Kuat Tekan dan Aliran Mortar Maksimum Menggunakan Agregat Kering Udara

Margeritha Agustina Morib <sup>[1]\*</sup>, Hironimus Firnius Zai <sup>[1]</sup>, Ninik Ariyani<sup>[1]</sup>

<sup>[1]\*</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UKRIM, Yogyakarta, 55571, Indonesia

Email: [margerithaagustina@ukrimuniversity.ac.id](mailto:margerithaagustina@ukrimuniversity.ac.id)\*,  
[hironimusfirniuszai18@student.ukrimuniveristy.ac.id](mailto:hironimusfirniuszai18@student.ukrimuniveristy.ac.id), [ninikariyani@ukrimuniversity.ac.id](mailto:ninikariyani@ukrimuniversity.ac.id)

Received: 06 April 2023; Revised: 17 July 2023; Accepted: 24 July 2023

## How to cited this article:

Morib, M.A., Zai, H.F., Ariyani, N., (2024). Perancangan Campuran *Self Compacted Concrete* Berdasarkan Kuat Tekan dan Aliran Mortar Maksimum Menggunakan Agregat Kering Udara. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 75–93. <https://doi.org/10.28932/jts.v20i1.6401>

## ABSTRAK

Penggunaan *Self Compacted Concrete* (SCC) pada industri konstruksi terus berkembang. Perbedaan tingkat kerumitan konstruksi mensyaratkan tingkat aliran dan kemampuan memadat SCC yang bervariasi. Prosedur perancangan SCC tidak ditetapkan secara pasti karena banyaknya parameter yang terlibat. Penelitian ini menggunakan metode perancangan bertahap dengan menentukan komposisi *fly ash* maksimum untuk substitusi semen tipe I yang menghasilkan kuat tekan mortar tertinggi. *Superplasticizer* ditambahkan pada mortar sehingga menghasilkan *flow mortar* dengan tingkat aliran lebih dari 250 mm. Komposisi terbaik digunakan untuk perancangan SCC. Pasir yang digunakan adalah Pasir Progo kering udara (Gradasi IV) dan Kerikil Clereng kering udara berukuran 4,8 mm – 9,6 mm. SCC diperoleh dengan menambahkan kerikil pada mortar menggunakan koefisien volume absolut 1,4; 1,6 dan 1,8 terhadap volume rongga 1 m<sup>3</sup> kerikil. Uji reologi beton segar meliputi *slump flow*, *v-funnel*, *L-box* dan *segregation resistance* untuk menentukan kelas SCC. Uji tekan 3 kubus mortar setiap variasi dilakukan pada umur 3 hari sedangkan uji tekan 3 silinder SCC setiap variasi dilakukan pada umur 3 dan 28 hari. Substitusi semen dengan *fly ash* 10% dan SP 1,8% memberikan hasil *flow mortar* 320,65 mm dan kuat tekan 22,07 Mpa dipilih sebagai mortar SCC. SCC dengan koefisien volume absolut 1,8 menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 30,48 MPa.

**Kata kunci:** *Fly Ash*, Kuat Tekan, Rancangan Campuran, Reologi, SCC

**ABSTRACT.** *Design of Self Compacted Concrete Mix Based on Maximum Compressive Strength and Mortar Flow Using Air Dried Aggregates. The use of Self Compacted Concrete (SCC) in construction industry continues to grow. Different levels of work complexity require varying flow rates and SCC compaction capabilities. Mix design for SCC cannot be defined precisely because there are many parameters involved. This study used a stepwise design method by determining maximum fly ash composition for type I cement substitution which produced highest mortar compressive strength. Superplasticizer added to produce flow mortar more than 250 mm. Air-dried Progo Sand (Gradation IV) and air-dried Clereng Gravel size 4.8 mm – 9.6 mm was used. SCC was obtained by adding gravel into mortar using coefficient of 1.4; 1.6 and 1.8 from 1 m<sup>3</sup> volume of agregat cavity. Fresh concrete rheological tests include slump flow, v-funnel, L-box and segregation resistance to determine SCC class. The compression test of 3 cubes mortar for each variation was carried out at 3 days while 3 cylinder SCC compression test for each variation was carried out at 3 and 28 days. Cement substitution with 10% fly ash and 1.8% superplasticizer gave flow mortar of 320.65 mm and compressive strength of 22.07 Mpa was chosen as the SCC mortar. SCC using coefficient of 1.8 produces compressive strength of 30.48 MPa.*

**Keywords:** *Compressive Strength, Fly Ash, Mix Design, Rheology, SCC*

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan beton pada konstruksi bangunan tinggi, jembatan ataupun struktur dengan beban yang sangat berat membutuhkan properti fisik dan mekanik yang baik. Untuk mampu memikul beban dan mengembangkan daktilitas struktur dengan baik saat gempa diperlukan beton dengan mutu yang baik serta tulangan baja daktail di dalam beton dengan rasio penulangan yang cukup besar sehingga menimbulkan jarak antar tulangan yang rapat. Pengecoran di daerah dengan tulangan rapat membutuhkan beton dengan standar workabilitas yang tinggi namun tetap menghasilkan beton mutu tinggi. Mutu beton yang tinggi diperoleh dengan cara mengurangi perbandingan berat air dan berat semen atau memperkecil fas yang berakibat pada menurunnya tingkat workabilitas beton, sulitnya pemadatan dan kemungkinan terjadinya *void*/rongga di dalam beton akibat pemadatan yang tidak sempurna. Untuk menjawab tantangan tersebut diperlukan material beton yang baik diukur dari kekuatan (*strength*), keawetan (*durability*) dan tingkat kemudahan dalam pekerjaan (*workability*) yang sangat ditentukan oleh material penyusun, rancangan campuran (*mix design*), proses pembuatan (pencampuran, pengangkutan, penuangan dan pemadatan) serta perawatan beton setelah mengeras sampai beton memiliki kekuatan penuh.

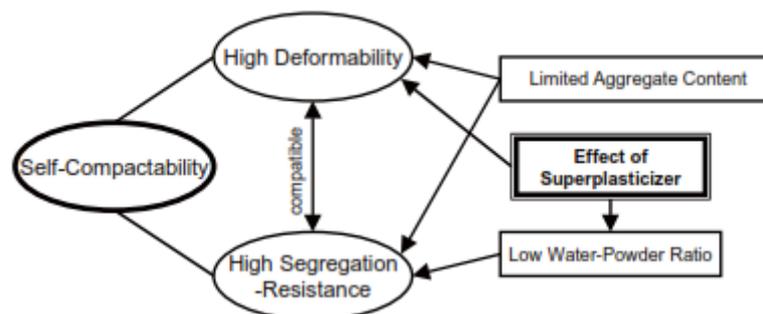
*Self-Compacting Concrete* (SCC) adalah beton dengan kemampuan mengalir, mengisi ruang dan memadat dengan memanfaatkan berat sendiri tanpa perlu proses pemadatan apapun. Pada kondisi segar beton ini memiliki viskositas dan konsistensi yang baik dan dapat dikerjakan tanpa mengalami segregasi ataupun *bleeding* meskipun masuk ke dalam celah-celah diantara tulangan yang cukup rapat atau jarak antara tulangan dan bekisting yang sempit. Saat beton telah mengeras beton menjadi lebih padat, homogen dan memiliki properti mekanik dan durabilitas yang serupa dengan beton konvensional bahkan memiliki kinerja yang jauh lebih baik.

Proporsi rancangan campuran yang tepat untuk membuat beton mudah mengalir sangat diperlukan untuk membuat SCC. Prosedur perancangan SCC tidak ditetapkan secara pasti karena banyaknya parameter yang terlibat dalam prosesnya. Rancangan SCC disederhanakan dengan membagi komponen SCC menjadi mortar dan agregat kasar. Perancangan SCC diawali dengan menentukan campuran *flow mortar* kemudian menambahkan agregat kasar dengan ukuran tertentu ke dalam *flow mortar* (Purwawidiatmoko, Satyarno & Siswanto, 2017). Metode ini menghasilkan SCC dengan kemampuan alir dan kuat tekan yang tinggi.

Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya karena bertujuan untuk memperoleh rancangan campuran yang tepat untuk menghasilkan SCC berdasarkan kuat tekan dan kemampuan alir mortar menggunakan agregat kering udara. Agregat kering digunakan untuk mendapatkan campuran *dry mix* yang bebas dari kandungan air yang dapat menyebabkan reaksi dari campuran beton yang akan dibuat. Campuran kering SCC ini pada akhirnya diharapkan bisa digunakan untuk beton instan dalam kemasan dan dapat disimpan cukup lama tanpa terjadi reaksi

hidrasi antara semen dan kandungan air dalam agregat saat penyimpanan. Penambahan *fly ash* pada campuran selain sebagai *filler* juga sebagai substitusi semen untuk mendapatkan beton ramah lingkungan. Pemanfaatan *fly ash* di bidang teknologi beton didorong untuk dikembangkan dan regulasi pemerintah untuk mengeluarkan *fly ash* dari kategori limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) perlu dipercepat berdasarkan hasil *Acute Oral Toxicity Test* (LD<sub>50</sub>) menunjukkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dengan dosis hingga 7000 mg/kg tidak menyebabkan kematian (Ekaputri & Shahib Al Bari, 2020). *Superplasticizer* ditambahkan untuk menghasilkan reologi beton segar yang memenuhi kelas SCC berdasarkan EFNARC 2005.

SCC dapat dikategorikan sebagai *high performance concrete* karena sifat fisik dan mekanik yang dimiliki saat beton masih segar maupun setelah mengeras. Metode untuk mencapai SCC tidak hanya melibatkan deformabilitas pasta atau mortar yang tinggi, tetapi juga ketahanan terhadap segregasi antara agregat kasar dan mortar ketika beton mengalir melalui ruang terbatas pada zona tulangan. Pembatasan jumlah agregat, penggunaan faktor air semen yang rendah dan penggunaan bahan tambah kimia pengurang air/ *high range water reducer* (HRWR) adalah cara untuk mencapai SCC (Okamura & Ozawa dalam Ounchi, Sakai, Sugiyama, Mitsui, Shindo, Maekaawa, Noguchi, 2008). Metode untuk mencapai SCC yang ditawarkan Okamura dan Ozawa ditampilkan pada **Gambar 1**.

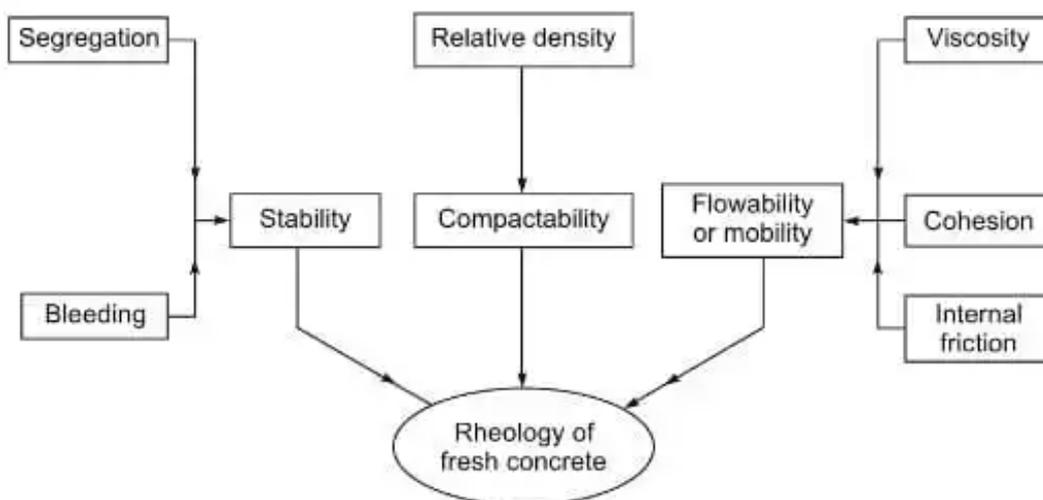


**Gambar 1.** Metode untuk Mencapai SCC (Ouchi, dkk, 2008)

*Superplasticizer* termasuk bahan kimia pengurang air yang berfungsi untuk menyebarkan partikel semen menjadi merata dan memisahkan menjadi partikel-partikel yang halus sehingga reaksi pembentukan C-S-H (*tubermorite*) akan lebih merata dan lebih aktif. Proporsi agregat kasar dan halus sangat berperan dalam menghasilkan SCC. Semakin besar proporsi agregat halus, kemampuan alir beton segar akan meningkat tetapi jika terlalu banyak maka kuat tekan beton akan turun. Resiko segregasi pada beton akan terjadi jika terlalu banyak agregat kasar. *Fly ash* digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) untuk meningkatkan kekentalan beton untuk menghindari *bleeding* dan segregasi.

Reologi beton memberikan informasi tentang sifat-sifat beton segar seperti deformasi, perilaku campuran dan pengecoran beton. Reologi adalah istilah yang terutama digunakan untuk cairan yang sifat alirannya rumit di luar zat cair atau gas. Istilah reologi dapat didefinisikan sebagai studi tentang ilmu aliran dan deformasi bahan. Konsep reologi dapat diterapkan untuk menganalisis deformasi beton yang mengeras, perilaku pasta dan bubur semen, pengerjaan dan penempatan campuran beton dalam keadaan segar. Oleh karena itu reologi diterapkan di semua tahapan beton yaitu dari beton segar hingga mengeras.

Reologi beton segar harus mempertimbangkan parameter stabilitas, mobilitas, dan kekompakan. Ketiga parameter tersebut merupakan faktor utama untuk mengukur kesesuaian campuran beton. Pengukuran reologi lebih didasarkan pada tegangan, regangan atau laju regangan dan faktor waktu. Faktor stabilitas, mobilitas, dan kekompakan dinyatakan dalam gaya atau tegangan yang berhubungan dengan campuran beton. Ini disebabkan karena transmisi tekanan mekanis di dalam beton. Parameter reologi beton segar dapat dinyatakan dengan diagram alir pada **Gambar 2**.

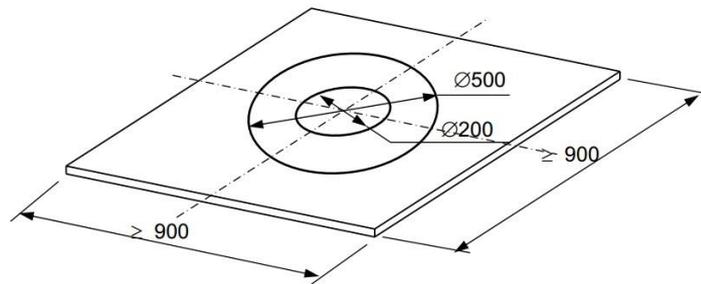


**Gambar 2.** Parameter Reologi Beton Segar ([Theconstructor.Org](http://Theconstructor.Org))

### 1.1 Fillingability

*Fillingability* adalah kemampuan campuran beton segar mengisi ruangan atau cetakan dengan beratnya sendiri. Pengujian dilakukan menggunakan *slump cone* dengan mengukur waktu alir beton untuk mencapai diameter 50 cm ( $T_{50}$ ) dalam waktu 3 – 15 detik dan diameter maksimum yang dicapai aliran beton ( $SF_{max}$ ) adalah 65 – 85 cm (EFNARC, 2005). Peralatan standar pengujian *slump flow* disajikan pada **Gambar 3** sedangkan kriteria penerimaan hasil pengujian *slump flow* disajikan pada **Tabel 1**. SCC yang memenuhi kriteria SF 1 dapat digunakan untuk pengecoran plat lantai bangunan dan pengecoran sistem injeksi, SF 2 digunakan pada konstruksi umum

seperti kolom dan dinding sedangkan SF 3 digunakan untuk aplikasi vertikal dalam struktur dengan tulangan yang sangat padat.



Gambar 3. Slump-flow Test (EFNARC, 2005)

Tabel 1. Kriteria Penerimaan Slump Flow Test

Class	Slump flow (mm)
SF 1	550 – 650
SF 2	660 – 750
SF 3	760 – 850

Sumber : (EFNARC, 2005)

## 1.2 Passing Ability

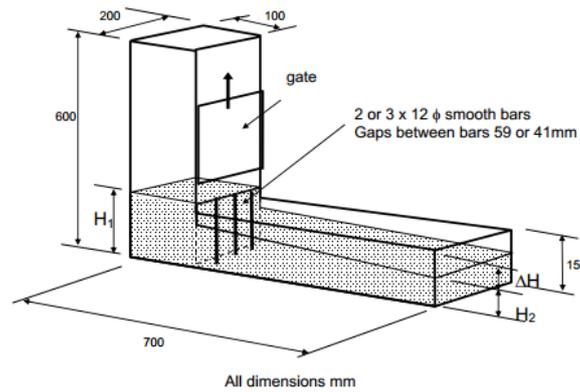
*Passing ability* adalah kemampuan campuran beton segar untuk melewati celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan. Pengujian dilakukan menggunakan *L-Shape Box*, dengan mengukur beda tinggi aliran beton arah horizontal ( $H_2/H_1$ ). Peralatan standar pengujian *L-Box* disajikan pada Gambar 4 sedangkan kriteria penerimaan hasil pengujian *L-Box* disajikan pada Tabel 2. *Passing ratio* (PL) atau *blocking ratio* (BL) dihitung berdasarkan persamaan (1). Kriteria SCC yang memenuhi syarat adalah apabila PL lebih besar dari 0,8 (EFNARC, 2005).

$$PL = \frac{H_2}{H_1} \text{ atau } BL = 1 - \frac{H_2}{H_1} \quad (1)$$

dengan :

$H_1$  : Tinggi beton segar dalam L-Box yang tidak melewati tulangan

$H_2$  : Tinggi beton segar dalam L-Box setelah melewati tulangan.



**Gambar 4.** *L-Shape Box Test* (EFNARC, 2005)

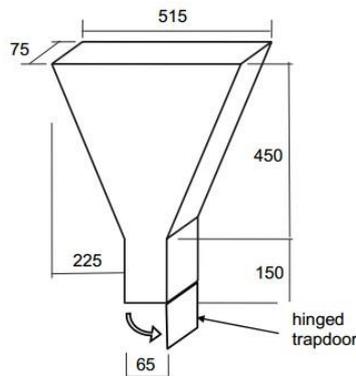
**Tabel 2.** Kriteria Penerimaan *L=Box test*

<i>Class</i>	<i>Passing ability</i>
PA 1	≥ 0,8 dengan 2 tulangan
PA 2	≥ 0,8 dengan 3 tulangan

Sumber : (EFNARC, 2005)

### 1.3 Viscosity

*Viscosity* merupakan sifat kental pada beton, macam-macam pengujian untuk mengetahui *viscosity* adalah  $T_{500}$  *Slump-flow test* atau *V-funnel* (EFNARC, 2005). *V-Funnel* digunakan sebagai alat uji *viscosity* dengan cara mengukur waktu yang diperlukan beton segar untuk segera mengalir melalui mulut di ujung bawah alat ukur *V-funnel* yaitu antara 8 – 25 detik (EFNARC, 2005). Peralatan standar pengujian *V-funnel* disajikan pada **Gambar 5** sedangkan kriteria penerimaan hasil pengujian *V-funnel* disajikan pada **Tabel 3**. Hasil VS 1 / VF 1 menunjukkan SCC dengan kemampuan mengisi yang baik, bahkan dengan kondisi tulangan rapat sedangkan VS 2 / VF 2 menunjukkan kemampuan mengisi yang cukup.



**Gambar 5.** *V-Funnel Test*

Tabel 3. Kriteria Penerimaan V-Funnel Test

Class	$T_{500}$ (detik)	V-funnel time (detik)
VS 1/VF 1	$\leq 2$	$\leq 8$
VS 2/VF 2	$> 2$	9 – 25

Sumber : (EFNARC, 2005)

#### 1.4 Segregation Resistance

*Segregation resistance* adalah kemampuan beton segar untuk tetap menjaga komposisi yang homogen selama waktu pengerjaan beton yang dinyatakan dalam persen *laitance*. *Laitance* adalah peristiwa dimana air naik kepermukaan beton dengan membawa semen dan butir-butir pasir halus yang kemudian membentuk lapisan/selaput. Untuk menentukan *segregation resistance* suatu beton segar dapat dilakukan dengan cara pengujian *sieve segregation* dan dihitung dengan menggunakan persamaan (2). SR 1 merupakan kelas *segregation resistance* dengan tingkat *laitance*  $\leq 20\%$  sedangkan SR 2 adalah kelas *segregation resistance* dengan tingkat *laitance*  $\leq 15\%$ .

$$SR = \frac{W_L}{W_T} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan :

SR : *Segregation resistance* beton segar yang dinyatakan dalam persen *laitance* (%)

$W_L$  : Berat beton segar lewat saringan (gr)

$W_T$  : Berat total beton segar yang diuji (gr)

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Material dan Peralatan Penelitian

Material penyusun SCC yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portland type 1, *fly ash* dari PLTU Payton Jawa Timur, agregat halus dari muara Sungai Progo, agregat kasar asal Clereng dan Superplasticizer *Deltamix SP Powder* dengan merek Deltacrete. Peralatan penelitian meliputi peralatan pengujian karakteristik material penyusun SCC, peralatan uji konsistensi mortar, cetakan kubus mortar 5 cm x 5 cm x 5 cm, peralatan uji reologi beton segar (*slum flow set*, *v-funnel set*, *L-box set* dan *segregation resistance set*), silinder beton diameter 15 cm tinggi 30 cm, alat uji desak beton kapasitas 2000 KN.

### 2.2 Perancangan Campuran Mortar dan SCC

Perancangan campuran dilakukan dengan terlebih dahulu merancang *flow mortar* untuk mendapatkan mortar mudah mengalir menggunakan *admixture* berupa *superplasticizer* sedikit demi sedikit sampai didapatkan takaran yang sesuai untuk mendapatkan nilai sebar yang diharapkan. Kriteria nilai sebar yang digunakan pada penelitian ini adalah saat selesai pengujian *flow mortar*, diameter mortar rata-rata dari 4 sisi sebaran mortar memperoleh hasil lebih dari 250

mm dengan nilai sebar minimum 100%. Setelah *flow mortar* siap, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan jumlah kerikil berdasarkan volume rongga agregat dan factor pengali koefisien absolut mortar. Perancangan dilakukan menggunakan perbandingan berat dari masing-masing bahan penyusunnya untuk menghasilkan 1 m<sup>3</sup> mortar, kemudian dimodifikasi kembali untuk menghasilkan 1 m<sup>3</sup> beton SCC.

Perancangan menggunakan *powder* berupa semen dan *fly ash*. Perancangan mortar diawali dengan menentukan kandungan *fly ash* (F%) terhadap berat semen serta perbandingan semen : pasir = 1 : L. Perbandingan berat air terhadap berat bahan sementius yaitu semen + *fly ash* (*water powder ratio*) sebesar M, sedangkan *admixture* berupa *superplasticizer* ditentukan sebesar k% dari berat semen.

Perancangan mortar dilakukan dengan menghitung berat masing-masing bahan menggunakan persamaan (3) sampai dengan persamaan (7).

$$W_s = \frac{1}{1+L} B_{ss} \quad (3)$$

$$W_p = \frac{L}{1+L} B_{sp} \quad (4)$$

$$W_{fa} = F\%W_s \quad (5)$$

$$W_a = M (W_s + W_{fa}) \quad (6)$$

$$W_{sp} = k\%W_s \quad (7)$$

dengan :

$W_s$  : berat semen (kg)

$B_{ss}$  : berat satuan semen (kg/m<sup>3</sup>)

$W_p$  : berat pasir (kg)

$B_{sp}$  : berat satuan pasir kering (kg/m<sup>3</sup>)

$W_{fa}$  : berat *fly ash* (kg)

$W_a$  : berat air (kg)

$W_{sp}$  : berat *superplasticizer* (kg)

Berdasarkan berat masing-masing bahan yang diperoleh dihitung volume campuran *flow mortar* menggunakan persamaan (8).

$$V_{\text{flow mortar}} = \frac{W_s}{B_{js} B_{sa}} + \frac{W_a}{B_{ja} B_{sa}} + \frac{W_{sp}}{B_{jsp} B_{sa}} + \frac{W_{fa}}{B_{jfa} B_{sa}} + \frac{W_p}{B_{jp} B_{sa}} \quad (8)$$

dengan :

$B_{jfa}$  : berat jenis *fly ash*

$B_{ja}$  : berat jenis air

$B_{js}$  : berat jenis semen

- $B_{J_p}$  : berat jenis pasir  
 $B_{J_{sp}}$  : berat jenis superplasticizer  
 $B_{sa}$  : berat satuan air ( $\text{kg/m}^3$ )

Apabila volume mortar yang dihasilkan belum mencapai  $1 \text{ m}^3$ , maka berat masing-masing bahan dibagi dengan volume total mortar untuk menghasilkan volume absolut bahan. Pengecekan volume absolut mortar sebesar  $1 \text{ m}^3$  dihitung dengan persamaan (9).

$$V_{FlowMortar} = 1 \text{ m}^3 = V_{abss} + V_{absa} + V_{absfa} + V_{absp} + V_{abs_{sp}} \quad (9)$$

dengan :

- $V_{abs_s}$  : Volume absolut semen ( $\text{m}^3$ )  
 $V_{abs_a}$  : Volume absolut air ( $\text{m}^3$ )  
 $V_{abs_{fa}}$  : Volume absolut *fly ash* ( $\text{m}^3$ )  
 $V_{abs_p}$  : Volume absolut pasir ( $\text{m}^3$ )  
 $V_{abs_{sp}}$  : Volume absolut *superplasticizer* ( $\text{m}^3$ )

Pada proses pengujian *flow mortar* digunakan variasi kadar *superplasticizer* mulai 1,6% - 2% untuk mendapatkan komposisi SP yang tepat untuk menghasilkan mortar dengan kemampuan aliran tinggi. Setelah komposisi SP yang tepat diperoleh, maka proses perancangan campuran dilanjutkan dari mortar menjadi beton SCC. Prosedur penetapan berat kerikil terhadap berat absolut mortar dilakukan dengan menetapkan volume rongga kerikil terlebih dahulu. Volume rongga kerikil ditentukan dengan persamaan (10).

$$V_r = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100\% \quad (10)$$

dengan :

- $V_r$  : volume rongga agregat kasar (%)  
 $W_1$  : Berat agregat kasar dalam bejana (kg)  
 $W_2$  : Berat agregat kasar dan air dalam bejana (kg)  
 $W_3$  : Berat air dalam bejana (kg)

Berat material penyusun mortar dalam SCC dihitung dengan mengalikan volume absolut mortar ( $\delta$ ) dengan volume rongga kerikil ( $V_r$ ) menggunakan persamaan (11) sampai dengan persamaan (15).

$$W_{s_{sc}} = W_s \delta V_r \quad (11)$$

$$W_{a_{sc}} = W_a \delta V_r \quad (12)$$

$$W_{fa_{sc}} = W_{fa} \delta V_r \quad (13)$$

$$W_{p_{scc}} = W_p \delta V_r \quad (14)$$

$$W_{sp_{scc}} = W_{sp} \delta V_r \quad (15)$$

dengan :

$W_{s_{scc}}$  : Berat semen untuk SCC (kg)

$W_{a_{scc}}$  : Berat air untuk SCC (kg)

$W_{fa_{scc}}$  : Berat *fly ash* untuk SCC (kg)

$W_{p_{scc}}$  : Berat pasir untuk SCC (kg)

$W_{sp_{scc}}$  : Berat *superplasticizer* untuk SCC (kg)

Perhitungan volume absolut dari masing-masing bahan mortar dalam SCC menggunakan persamaan (16).

$$V_{mortar\_scc} = \frac{W_{s_{scc}}}{B_{js} B_{sa}} + \frac{W_{a_{scc}}}{B_{ja} B_{sa}} + \frac{W_{fa_{scc}}}{B_{jfa} B_{sa}} + \frac{W_{p_{scc}}}{B_{jp} B_{sa}} + \frac{W_{sp_{scc}}}{B_{jsp} B_{sa}} \quad (16)$$

Volume absolut agregat kasar dalam SCC ( $V_{kr\_scc}$ ) dihitung berdasarkan total volume SCC yaitu  $1 \text{ m}^3$  dikurangi dengan  $V_{mortar\_scc}$  menggunakan persamaan (17).

$$V_{kr\_scc} = 1 - V_{mortar\_scc} \quad (17)$$

Berat kerikil dihitung menggunakan persamaan (18).

$$W_{k_{scc}} = V_{kr\_scc} B_{jkr} B_{sa} \quad (18)$$

dengan :

$W_{k_{scc}}$  : Berat kerikil dalam SCC (kg)

$V_{kr\_scc}$  : Volume kerikil dalam SCC ( $\text{m}^3$ )

$B_{jkr}$  : Berat jenis kerikil

### 2.3 Metode Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Beton, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel selama kurang lebih 3 bulan (Oktober – Desember 2022). Pengujian karakteristik material penyusun SCC dilaksanakan pada awal penelitian dan digunakan sebagai dasar perancangan campuran mortar dan SCC. Campuran mortar dirancang dan dilanjutkan dengan penentuan komposisi *fly ash* maksimum sebagai bahan substitusi semen berdasarkan rata-rata hasil uji tekan tiga buah kubus mortar berukuran  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$  pada umur 3 hari. Komposisi *fly ash* ditetapkan sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Kadar *superplasticizer* ditentukan berdasarkan hasil *flow mortar* yang lebih besar dari 250 mm dengan kuat tekan tertinggi. Komposisi *superplasticizer* yang diuji yaitu 1,6%, 1,7%, 1,8 %, 1,9%

dan 2% dari berat semen. Agregat kasar ditambahkan pada mortar SCC berdasarkan koefisien volume absolut mortar dan volume rongga agregat. Prosedur pengujian beton segar dan kriteria penerimaan kelas SCC dilaksanakan berdasarkan standar EFNARC 2005. Uji kuat tekan SCC menggunakan 3 buah silinder beton setiap variasi dilaksanakan pada saat beton berumur 3 dan 28 hari.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

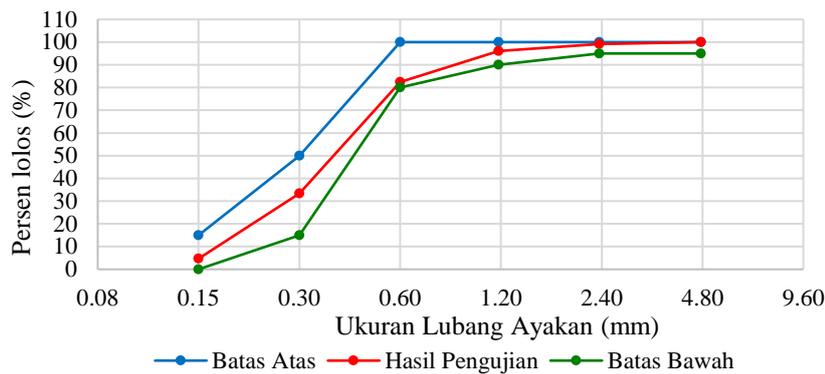
#### 3.1 Karakteristik Material Penyusun SCC

Pengujian karakteristik material penyusun SCC pada agregat halus dan agregat kasar meliputi pengujian berat jenis, berat satuan, penyerapan air agregat, modulus kehalusan butiran dan volume rongga. Pengujian pada *fly ash* dan *superplasticizer* adalah berat jenis sedangkan semen portland tipe 1 tidak diuji namun menggunakan data *dummy* dengan berat satuan 1250 kg/m<sup>3</sup> dan berat jenis 3,15. Hasil uji karakteristik material penyusun SCC disajikan pada **Tabel 4**.

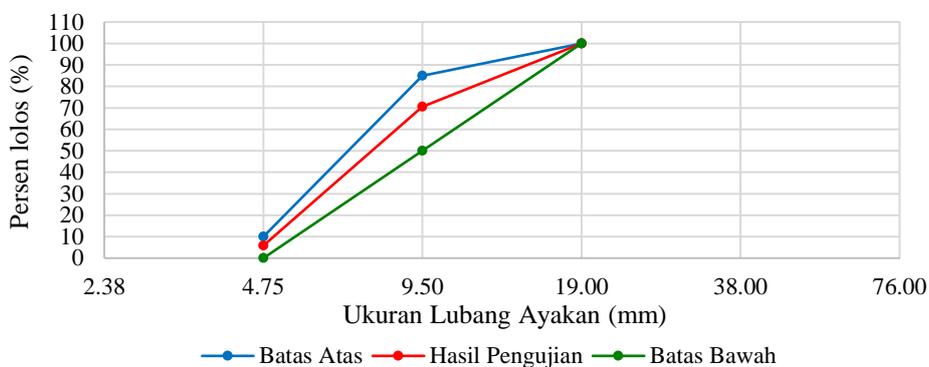
SNI 03-2834-2000 membagi gradasi agregat halus dalam 4 zona gradasi yaitu gradasi I (kasar), gradasi II (agak kasar), gradasi III (agak halus) dan gradasi IV (halus). Agregat kasar dibagi berdasarkan ukuran maksimum agregat yaitu 10 mm, 20 mm dan 40 mm. Agregat halus asal muara Sungai Progo masuk dalam gradasi IV dengan MHB 2,84 ditampilkan pada **Gambar 6**. Hasil uji gradasi agregat kasar dengan ukuran butir maksimum 10 mm diperoleh MHB 6,22 ditampilkan pada **Gambar 7**.

**Tabel 4.** Karakteristik Material Penyusun SCC

Material Penyusun SCC	Berat Satuan (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Jenis	Modulus Halus Butir	Penyerapan Air Agregat (%)	Volume Rongga (%)
Semen Portland	1250	3,15	-	-	-
Air	1000	1,00	-	-	-
<i>Fly Ash (FA)</i>	-	2,63	-	-	-
<i>Super Plasticizer (SP)</i>	-	2,34	-	-	-
Pasir	1489,36	2,72	2,84	1,56	-
Kerikil	1404,32	2,38	6,22	1,78	45,12



Gambar 6. Kurva Gradasi Agregat Halus (Gradasi IV)



Gambar 7. Kurva Gradasi Agregat Kasar dengan Ukuran Butir Maksimum 10 mm

Gradasi agregat termasuk pasir berbutir halus dan kerikil dengan ukuran maksimum 10 mm diharapkan dapat memberikan tingkat aliran yang baik pada mortar dan SCC. Gradasi ini mempengaruhi berat satuan dan berat jenis agregat kering udara sehingga proporsi *mix design* mortar dan SCC yang dihasilkan juga terpengaruh. Agregat kering memerlukan air yang lebih banyak agar dapat tercampur dengan baik. Koreksi penyerapan air dilakukan untuk mendapatkan jumlah air yang tepat untuk menghasilkan agregat dengan kondisi yang sama dengan jenuh kering muka.

### 3.2 Hasil dan Pembahasan Uji Kuat Tekan Mortar

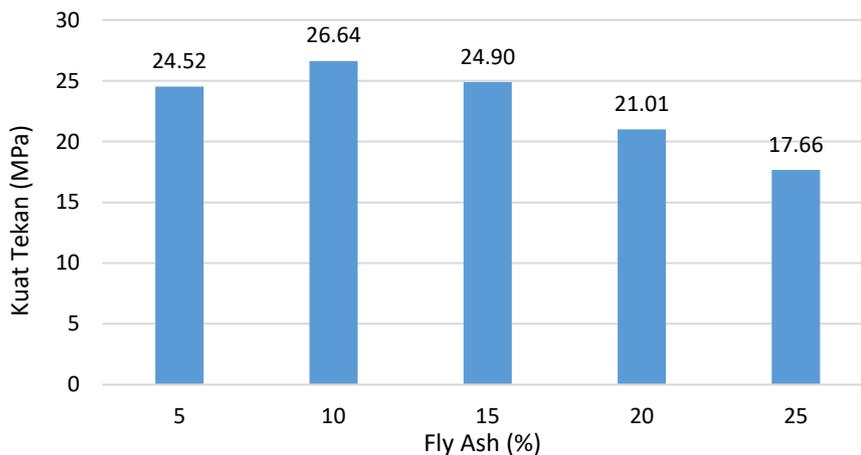
Mortar dirancang dengan rasio semen pasir 1 : 1 serta perbandingan air terhadap *powder* (semen dan *fly ash*) adalah 0,4. Hasil perancangan campuran mortar untuk memperoleh komposisi *fly ash* untuk substitusi semen dengan kuat tekan tertinggi ditampilkan pada **Tabel 5**. Hasil uji kuat tekan mortar umur 3 hari dengan berbagai variasi *fly ash* untuk substitusi semen ditampilkan pada **Tabel 6**. Hubungan komposisi *fly ash* untuk substitusi semen terhadap kuat tekan ditampilkan pada **Gambar 8**.

**Tabel 5.** Rancangan Campuran 1 m<sup>3</sup> Mortar dengan Variasi *Fly Ash* untuk Substitusi Semen

Material Penyusun Mortar	Berat (kg)				
	MFA5	MFA10	MFA15	MFA20	MFA25
Semen	806,63	762,15	717,91	673,90	630,12
<i>Fly ash</i>	42,45	84,68	126,69	168,47	210,04
Pasir	1011,68	1009,00	1006,33	1003,68	1001,05
Air	355,44	354,49	353,56	352,63	351,70

**Tabel 6.** Kuat Tekan Mortar Umur 3 Hari dengan Variasi *Fly Ash* untuk Substitusi Semen

Kode Benda Uji	Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Umur (Hari)	Jumlah benda uji (buah)	Kuat Tekan (MPa)
MFA5	5	3	3	24,52
MFA10	10	3	3	26,64
MFA15	15	3	3	24,90
MFA20	20	3	3	21,01
MFA25	25	3	3	17,66



**Gambar 8.** Hubungan Komposisi *Fly Ash* untuk Substitusi Semen terhadap Kuat Tekan

Hasil uji tekan mortar umur 3 hari menunjukkan bahwa kadar *fly ash* untuk substitusi semen pada mortar mempengaruhi kuat tekan. Hal ini disebabkan karena proses hidrasi yang terjadi pada mortar berbeda satu sama lain mengikuti seberapa banyaknya *fly ash* yang digunakan dalam campuran mortar. Silika pada *fly ash* sangat berpengaruh pada proses hidrasi sehingga mempengaruhi mutu beton (Arthana, 2017). Kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh MFA10 sebesar 26,64 MPa sedangkan kuat tekan terendah dihasilkan oleh MFA25 sebesar 17,66 MPa. MFA10 dipilih sebagai komposisi yang akan digunakan untuk mortar SCC.

### 3.3 Hasil dan Pembahasan Uji Aliran Mortar Maksimum

Hasil perancangan campuran MFA10 ditambah *superplasticizer* 1,6% sampai dengan 2% dapat dilihat pada **Tabel 7**. Hasil uji *flow mortar* dan kuat tekan mortar umur 3 hari dengan berbagai variasi *superplasticizer* dapat dilihat pada **Tabel 8**. Bentuk sebaran mortar berdasarkan kadar *superplasticizer* yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 9** sedangkan grafik hubungan kadar *superplasticizer* terhadap kuat tekan dan *flow mortar* ditampilkan pada **Gambar 10**.

**Tabel 7.** Rancangan Campuran 1 m<sup>3</sup> Mortar Menggunakan Variasi *Superplasticizer*

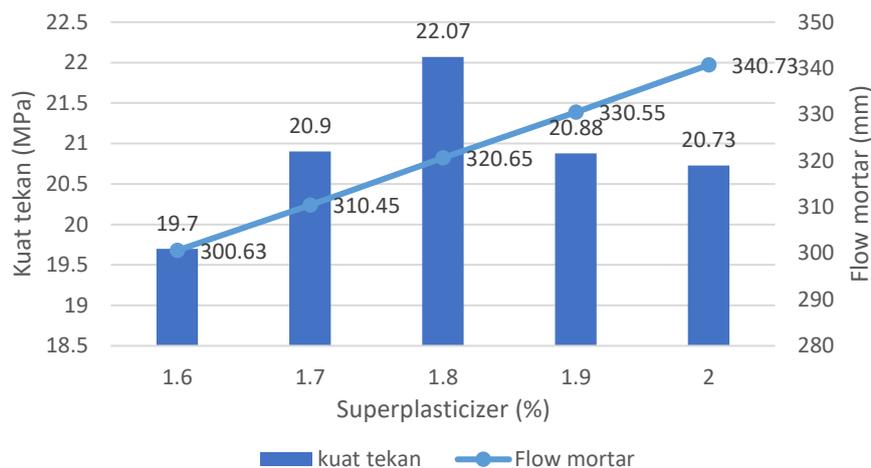
Material Penyusun Mortar	Berat (kg)				
	SP 1,6%	SP 1,7%	SP 1,8%	SP 1,9%	SP 2%
Semen	757,76	757,49	757,21	756,94	756,67
Fly ash (10%)	84,20	84,17	84,13	84,10	84,07
<i>Superplasticizer</i>	13,47	14,31	15,14	15,98	16,81
Pasir	1003,18	1002,82	1002,46	1002,10	1001,74
Air	352,45	352,33	352,20	352,07	351,94

**Tabel 8.** Hasil Uji *Flow Mortar* dan Kuat Tekan dengan Variasi *Superplasticizer*

<i>Super Plasticizer</i> (%)	Jumlah benda uji (buah)	<i>Flow Mortar</i> (mm)	Nilai Sebar (%)	Kuat Tekan (MPa)
1,6	3	300,63	200,63	19,70
1,7	3	310,45	210,45	20,90
1,8	3	320,65	220,65	22,07
1,9	3	330,55	230,55	20,88
2	3	340,73	240,73	20,73



**Gambar 9.** Bentuk Sebaran Mortar



**Gambar 10.** Hubungan Kadar *Superplasticizer* terhadap Kuat Tekan dan *Flow Mortar*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* dalam campuran mortar meningkatkan *flow mortar* tetapi tidak meningkatkan kuat tekan. Penggunaan *superplasticizer* secara berlebihan dapat mengganggu proses hidrasi dan mempengaruhi kekuatan mekanis dari mortar. Proses hidrasi dari partikel semen dapat terhambat karena permukaan partikel semen yang seharusnya bereaksi dengan air terselubungi oleh *superplasticizer* sehingga tidak dapat menyatu dengan air. Keadaan ini akan menyebabkan mortar mengalami *setting* yang lama sehingga dapat mengurangi kekuatannya (Antoni & Handoko, 2007).

Kuat tekan tertinggi terjadi pada MFA10 dengan kadar *superplasticizer* 1,8% sebesar 22,07 MPa. **Gambar 9** menunjukkan konsistensi bentuk sebaran mortar yang berbeda. Penggunaan *superplasticizer* sampai 1,8% dari berat semen masih menunjukkan konsistensi yang baik ditunjukkan dengan lingkaran mortar yang terbentuk dengan baik. Lebih dari itu bentuk lingkaran sebaran mortar menjadi tidak teratur. Komposisi MFA10 dengan kadar *superplasticizer* 1,8% dipilih sebagai mortar yang digunakan untuk SCC.

### 3.4 Hasil dan Pembahasan Uji SCC

Campuran MFA10 dengan *superplasticizer* 1,8% ditambah agregat kasar untuk menghasilkan SCC menggunakan koefisien volume absolut mortar 1,4; 1,6 dan 1,8. Hasil rancangan campuran SCC dapat dilihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 9.** Hasil Rancangan Campuran SCC

Material Penyusun SCC	Berat Bahan (kg)		
	Koefisien Volume Absolut Mortar		
	SCC-1.4	SCC-1.6	SCC-1.8
Semen	470,92	540,23	610,07
<i>Fly ash</i> (10%)	52,32	60,03	67,79
<i>Superplasticizer</i> (1,8%)	9,42	10,80	12,20
Pasir	623,44	715,20	807,66
Air	234,42	262,94	291,67
Kerikil	863,89	654,75	444,01
Jumlah	2254,42	2243,94	2233,39

**Tabel 9** menunjukkan bahwa semakin besar koefisien volume absolut mortar, maka jumlah agregat kasar pada SCC semakin kecil. Perbandingan komposisi agregat kasar terhadap agregat halus dengan koefisien volume absolut 1,4; 1,6 dan 1,8 berturut-turut adalah 41,92 : 58,08; 52,21 : 47,79 dan 64,53 : 35,47. Komposisi maksimum untuk menghasilkan SCC yang baik ditentukan berdasarkan persyaratan reologi beton segar serta properti mekanis SCC yaitu kuat tekan. Pengujian reologi beton segar dapat dilihat pada **Gambar 11** dan hasil uji reologi beton segar disajikan pada **Tabel 10**. Kuat tekan SCC umur 3 dan 28 hari diperoleh dari rata-rata tiga buah silinder beton tiap variasi pengujian. Grafik hubungan koefisien volume absolut mortar terhadap kuat tekan dan *slump flow* SCC umur 3 dan 28 hari ditampilkan pada **Gambar 12**.

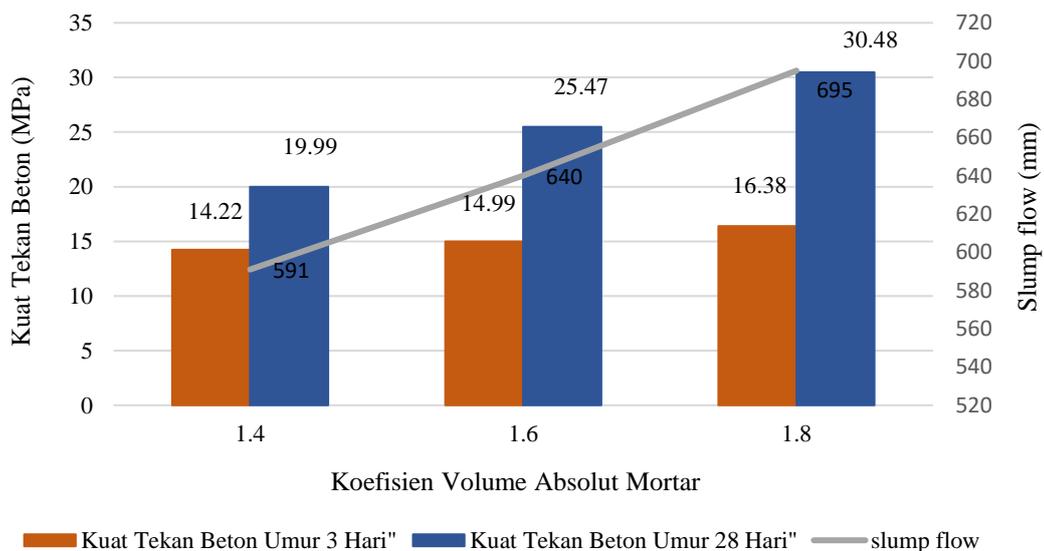


**Gambar 11.** Pengujian Reologi Beton Segar  
a. *Slump Flow*    b. *L Box*    c. *Segregation Resistance*    d. *V funnel*

**Tabel 10.** Hasil Uji Reologi Beton Segar

Kode	Kemampuan	Pengujian	EFNARC 2005	Hasil Uji	Kelas SCC
SCC-1,4	Fillingability	Slump flow	550 -850 mm	591 mm	SF1
	Passingability	L-box	0,8	0,804	PA2
	Viscosity	V-funnel	8 – 25 detik	5 detik	VF1
	Segregation	Sieve	15% – 20%	14,88%	SR2
	Resistance	segregation			
SCC-1,6	Fillingability	Slump flow	55-85 mm	640 mm	SF1
	Passingability	L-box	0,8	0,827	PA2
	Viscosity	V-funnel	8 – 25 detik	4 detik	VF1
	Segregation	Sieve	15% – 20%	17,56%	SR1
	Resistance	segregation			
SCC-1,8	Fillingability	Slump flow	55-85 mm	695 mm	SF2
	Passingability	L-box	0,8	0,883	PA2
	Viscosity	V-funnel	8 – 25 detik	3 detik	VF1
	Segregation	Sieve	15% – 20%	19,44%	SR1
	Resistance	segregation			

Seluruh hasil pengujian reologi beton segar menunjukkan bahwa beton memenuhi persyaratan dikategorikan sebagai SCC. Semakin besar koefisien volume absolut mortar memberikan hasil kemampuan untuk mengisi ruang dan kemampuan melewati rintangan yang semakin baik. Kekentalan beton berkurang seiring meningkatnya koefisien mortar, sehingga beton lebih cepat untuk mengalir ditunjukkan waktu aliran beton melalui mulut *V-funnel* semakin cepat. Semakin besar koefisien mortar, kemungkinan untuk terjadi segregasi juga semakin besar, namun sampai dengan koefisien absolut 1,8 masih menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan batas ketahanan terhadap segregasi.



**Gambar 12.** Hubungan Koefisien Volume Absolut Mortar terhadap Kuat Tekan dan *Slump Flow* SCC

Hasil uji kuat tekan tertinggi diperoleh pada SCC-1,8 yaitu 30,48 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan yang dihasilkan tidak terlalu tinggi dibandingkan penelitian SCC lainnya disebabkan perencanaan campuran SCC menggunakan rasio semen pasir 1 : 1 dan rasio air terhadap powder 0,4 untuk mendapatkan harga beton yang lebih ekonomis dengan 10% *fly ash* untuk substitusi semen. Penggunaan agregat kering udara dan bukan SSD juga mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan, meskipun faktor penyerapan air agregat sudah dimasukkan ke dalam proses perencanaan. Air yang terserap oleh agregat kering mengurangi jumlah air yang dibutuhkan untuk reaksi hidrasi semen. Semen dan air bisa bereaksi dengan baik jika berat air minimal 20% dari berat semen. Jumlah air selebihnya digunakan sebagai media pencampur pasta semen dan agregat untuk mendapatkan campuran beton yang homogen. Penggunaan rasio air terhadap *powder* 0,4 memberikan nilai slump yang sangat rendah ditambah dengan penggunaan agregat kering udara. Kemampuan alir SCC sangat mengandalkan peranan superplasticizer. Penggunaan agregat kering diperlukan jika hasil ini kemudian akan digunakan sebagai beton instant.

Penelitian SCC lainnya menggunakan perbandingan semen : pasir yaitu 1 : 0,35 menggunakan agregat jenuh kering muka (Wulan, Satyarno & Saputra, 2018). Rasio semen pasir 1:0,35 menyebabkan penggunaan semen yang banyak dan ditambah *silica fume* sebanyak 15% sebagai *filler* tanpa mengurangi jumlah semen memberikan hasil kuat tekan SCC dengan koefisien volume absolut 1,4; 1,6 dan 1,8 berturut-turut sebesar 88,2 MPa, 100 MPa dan 97,9 MPa. Jumlah semen ini tiga kali lipat lebih besar dari pada jika menggunakan perbandingan semen : pasir yaitu 1 : 1 dan kuat tekan yang dihasilkan juga tiga kali lipat lebih besar.

Kuat tekan beton umur 3 hari mencapai 71,14% dari kuat tekan umur 28 hari pada SCC-1,4 sedangkan untuk SCC-1,6 dan SCC-1,8 kuat tekan beton umur 3 hari mencapai 58,85% dan 54,74% dari kuat tekan umur 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah mortar dalam campuran SCC menyebabkan laju pengerasan pada umur awal beton semakin lambat namun memberikan hasil akhir kuat tekan lebih tinggi. Meningkatnya kemampuan alir dan kemampuan memadat pada SCC-1,8 memberikan hasil SCC yang lebih padat sehingga kuat tekan akhir yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh maka dapat disusun kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan campuran mortar menggunakan *fly ash* untuk substitusi semen dengan rasio semen pasir 1:1 dan rasio air *powder* 0,4 memberikan hasil kuat tekan tertinggi pada MFA10 sebesar 26,64 MPa.

2. Kadar *superplasticizer* terbaik yang ditambahkan pada MFA10 adalah sebesar 1,8% dari berat semen. Tambahan ini memberikan hasil *flow mortar* mencapai 320,65 mm dengan kuat tekan 22,07 MPa. Penambahan *superplasticizer* dalam campuran mortar meningkatkan *flow mortar* tetapi tidak meningkatkan kuat tekan. Penggunaan *superplasticizer* secara berlebihan dapat mengganggu proses hidrasi dan mempengaruhi kekuatan mekanis dari mortar.
3. Kuat tekan SCC tertinggi diperoleh pada SCC-1,8 sebesar 30,48 MPa. Hasil tersebut linier dengan seluruh hasil reologi beton segar yang dilakukan. SCC-1,8 menghasilkan *slump flow* 695 mm, *passingability* 0,883, *V-funnel* sebesar 3 detik dan *sieve segregation* 19,44%. SCC yang memenuhi persyaratan reologi menghasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi.
4. Kuat tekan beton umur 3 hari mencapai 71,14% dari kuat tekan umur 28 hari pada SCC-1,4 sedangkan untuk SCC-1,6 dan SCC-1,8 kuat tekan beton umur 3 hari mencapai 58,85% dan 54,74%. Semakin besar jumlah mortar dalam campuran SCC menyebabkan laju pengerasan pada umur awal beton semakin lambat namun memberikan hasil akhir kuat tekan lebih tinggi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Antoni dan Sugiarto, H., (2007). "Kompabilitas Antara Super Plasticizer Tipe Polycarboxylate dan Naphthalene dengan Semen Lokal". Skripsi. Yogyakarta : Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Arthana, (2017). "Pengaruh Penambahan Fly Ash, Pasir Kuarsa, dan Super Plasticizer Viscocrete 110 terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi". Skripsi. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Ekaputri, J. J., Shahib Al Bari, M., (2020), "Perbandingan Regulasi Fly Ash sebagai Limbah B3 di Indonesia dan Beberapa Negara", Media Komunikasi Teknik Sipil, 26(2), 150-162.
- EFNARC, (2005). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK: Association House.
- Ouchi, M., Sakai, E., Sugiyama, T., Mitsui, K., Shindo, T., Maekawa, K., Noguchi, T., (2008). Self-Compacting Concrete in Japan. Conference Paper, Keynote Lecture, 8th International Symposium on Utilization of High Strength and High Performance Concrete.
- Purwowidiatmoko, A. M., Satyarno, I., Siswanto, M. F., (2017). Perancangan Mix Design Flow Mortar untuk Pembuatan Self Compacting Concrete (SCC) Dengan Fas 0,3. Naskah Publikasi Tesis, Indonesia: Universitas Gadjah Mada.
- Theconstructor, Rheology of Concrete – Rheological Parameter of Fresh Concrete, URL: <https://theconstructor.org/concrete/rheology-of-concrete/15319/m> diakses tanggal 18 Desember 2022
- Wulan, S.A., Satyarno, I., Siswanto, M. F., (2018). Mix Design of Self Compacting Concrete Based on Ultra High Compressive Strength Flow Mortar Mix, Journal of the Civil Engineering Forum, 4(1), 91-96.