

PERANCANGAN MORTAR SEBAGAI MEDIA ALIR AGREGAT KASAR DALAM SCC MENGGUNAKAN *FLY ASH* SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN

Margeritha Agustina Morib*, Anugrah Jaya Telaumbanua, Yosua Emmanuel Zebua

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta
Jl. Solo KM. 11,1, Purwomartani, Kalasan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55571

*Email: margerithaagustina@ukrimuniversity.ac.id

Abstrak

Self Compacted Concrete (SCC) mudah mengalir, mengisi ruang cetakan dan melewati tulangan tanpa pemadatan tanpa segregasi. Untuk mengalirkan agregat kasar diperlukan campuran mortar yang sangat homogen dan mudah mengalir. Penggunaan *fly ash* dipilih karena butirannya lebih halus dari semen untuk meningkatkan rentang gradasi butiran sehingga beton semakin padat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan campuran mortar menggunakan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen dengan kadar *superplasticizer (SP)* bervariasi. *Water powder ratio (w/c=0,35)*, menggunakan pasir Kali Kuning Yogyakarta bergradasi agak kasar. *Mix design* dihitung untuk 1 m³ mortar. Komposisi *fly ash* adalah 0%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% dengan kode (PC-FA). Komposisi *SP* direncanakan menggunakan PC-FA40 sebagai rata-rata substitusi partial semen dengan *fly ash* dengan variasi 1,2%, 1,4%, 1,6%, 1,8%, 2%. Pengujian aliran mortar menggunakan *electric flow table* dengan pengetaran 25 kali ketukan. Kuat tekan merupakan rata-rata hasil tekan 3 buah kubus mortar 5cm x 5cm x 5cm pada umur 3 dan 28 hari. *SP1,6%* menghasilkan aliran mortar tertinggi yaitu 272,93 mm dengan kuat tekan 40,55 MPa. Hasil uji komposisi *fly ash* memberikan hasil terbaik pada komposisi PC-FA50 dengan aliran mortar 300,35 mm dan kuat tekan 49,77 MPa.

Kata kunci: beton, *fly ash*, kuat tekan, mortar, SCC

1. PENDAHULUAN

Self Compacting Concrete (SCC) dapat didefinisikan sebagai suatu jenis beton yang dapat dituang, mengalir dan menjadi padat dengan memanfaatkan berat sendiri, tanpa memerlukan proses pemadatan dengan getaran atau metode lainnya. Beton segar jenis SCC bersifat kohesif dan dapat dikerjakan tanpa terjadi segregasi atau *bleeding* (Widodo S, 2003). SCC yang baik harus tetap homogen, kohesif, tidak terjadi segregasi, *blocking*, dan *bleeding* (J. Kolompo, 2017).

Untuk dapat mengalir dengan tetap mempertahankan homogenitas tanpa segregasi, diperlukan perencanaan yang tepat untuk pasta semen, mortar maupun SCC. Pasta semen menjadi media alir agregat halus dalam mortar, sedangkan mortar menjadi media alir agregat kasar. Agregat halus dapat mengalir dengan baik apabila jumlah pasta yang digunakan cukup besar. Volume pasta dirancang melebihi volume rongga antar agregat agar seluruh partikel agregat terbungkus pasta dan terlumasi dengan baik. Hasilnya adalah peningkatan fluiditas dan berkurangnya gesekan/friksi antar partikel agregat yang berpotensi menghambat aliran (EFNARC, 2002).

Mortar merupakan campuran dari agregat halus (pasir), air dan semen pada proporsi tertentu sebagai bahan perekat. Dalam pembuatan beton,

mortar yang baik dan homogen diperlukan untuk membungkus agregat kasar. Volume mortar yang cukup besar dapat memastikan beton semakin mudah mengalir dan saling tautan antar agregat (*aggregate interlock*) berkurang sehingga lebih mudah melewati tulangan. Mortar yang baik harus awet/tahan lama, mudah dikerjakan, tahan terhadap unsur perusak (Wenno & Wallah S., 2014).

Sifat mudah mengalir diukur dengan besarnya diameter aliran mortar (*mortar flow*) dan nilai sebar. Kriteria nilai sebar mortar diukur dari diameter mortar rata-rata pada 4 sisi sebaran mortar dengan hasil lebih dari 250 mm dan nilai sebar minimum 100% dengan tetap mempertahankan konsistensi bentuk sebaran mortar (Morib *et al.*, 2024).

Material perekat pada SCC tidak hanya menggunakan semen portland melainkan ditambah dengan *filler* untuk meningkatkan konsistensi dan kuat tekan pada akhirnya. Material *filler* yang digunakan antara lain *fly ash*, *silica fume*, bubuk batu kapur (*ground limestone*) dan *Ground Granulated Blast Slag (GGBS)* berupa *iron slag* (terak besi), *steel slag* (terak baja), *nickel slag* (terak nikel) dan *cooper slag* (terak tembaga). Penggunaan *slag* dapat meningkatkan kuat tekan beton pada umur muda (Amalia & Riyadi, 2019).

Fly ash adalah sisa hasil pembakaran batu bara dari tungku pembangkit tenaga uap yang terbawa gas buangan cerobong asap yang kemudian ditangkap sebelum terbawa keluar cerobong (Nuraini et al., 2019). Penggunaan *fly ash* pada beton hanya digunakan bersama dengan *Ordinary Portland Cement* (semen tipe I). Hal itu didasari pada sifat material yang memiliki kemiripan dengan sifat semen. Secara fisik, *fly ash* memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butir-butirnya. Sifat kimia yang dimiliki oleh *fly ash* berupa silika dan alumina dengan persentase mencapai 80% juga mirip dengan semen. Adanya kemiripan sifat-sifat ini menjadikan *fly ash* sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah semen pada beton mutu tinggi (Setiawati, 2018). Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen dibatasi pada abu terbang kelas F dengan penggunaan maksimum 40% (Wenno et al., 2014)

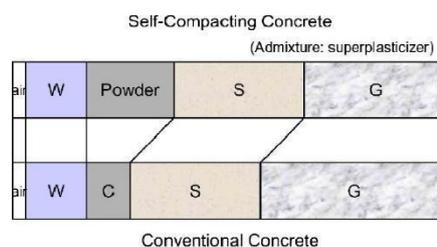
Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton SCC yang menggunakan *fly ash* memiliki kuat tekan yang tinggi (Borsoi, et al., 2007). Penggunaan *fly ash* sampai dengan 50% sebagai pengganti semen pada SCC menghasilkan kuat tekan 75 MPa pada umur 90 hari. Hal ini terjadi karena *pozzolan* dalam *fly ash* memperlambat ikatan awal pada beton sehingga di umur muda pengaruh *fly ash* belum terlihat. *Pozzolan* bereaksi dengan kapur padam (CaCO_2) yang merupakan efek samping/sisa dari reaksi hidrasi semen dan menghasilkan *tobermorite* tambahan yang bersifat perekat seperti semen (Tjokrodinuljo, 2007).

Dhyaneshwaran, et al (2013) melakukan penelitian durabilitas SCC dengan komposisi *fly ash* 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dengan hasil bahwa substitusi semen dengan *fly ash* sebesar 30% memberikan hasil fluiditas, sifat mekanik dan durabilitas yang paling baik.

Gradasi dan modulus halus butir agregat yang digunakan dalam campuran mortar dan beton SCC berpengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Ulitua, Gole (2023) meneliti pengaruh gradasi agregat terhadap kuat tekan dan aliran mortar menggunakan pasir kering udara gradasi II berasal Kali Kuning Yogyakarta dan pasir gradasi IV dari muara Sungai Progo Yogyakarta. Hasilnya menunjukkan bahwa pasir gradasi II (agak kasar) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dari pada pasir gradasi IV (halus). Namun aliran dan kekentalan campuran mortar menggunakan pasir gradasi IV lebih baik dari pada pasir gradasi II.

Penelitian ini dirancang untuk mendapatkan mortar dengan tingkat aliran dan kuat tekan tinggi yang dapat digunakan sebagai media alir agregat kasar dalam SCC menggunakan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen. Pengaruh komposisi *fly ash* sebanyak 0%, 30%, 35%, 40%, 45% dan 50% terhadap aliran, konsistensi juga kuat tekan mortar yang dihasilkan diteliti sehingga diperoleh komposisi mortar SCC. Pasir yang digunakan adalah pasir Kali Kuning Yogyakarta dengan gradasi II.

Perkembangan penelitian mengenai SCC diawali dengan penelitian Okamura dan Ouchi. Okamura dan Ouchi (2003) membandingkan komposisi campuran antara SCC dengan beton konvensional seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan beton normal dengan SCC (Okamura & Ouchi, 2003)

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada volume yang sama komposisi material yang diperlukan SCC dan beton konvensional berbeda. Komposisi mineral halus (*powder*) pada SCC lebih banyak dibandingkan komposisi semen pada beton konvensional. *Powder* pada SCC dapat berupa semen ataupun *binder* (bahan pengikat yang terdiri dari semen dan *filler*). Komposisi agregat halus (pasir) hampir sama antara SCC dan beton konvensional, sedangkan komposisi kerikil SCC lebih sedikit. Proporsi agregat kasar sebesar 50% dan proporsi agregat halus sebesar 60% dari agregat campuran disarankan untuk menghasilkan deformasi geser beton kecil. Untuk mendapatkan campuran SCC, Okamura dan Ouchi mengusulkan penggunaan agregat lebih sedikit, *water powder ratio* (w/p) kecil serta menggunakan *superplasticizer* (SP).

Mix design adalah proses menentukan komposisi campuran adukan berdasarkan data-data dari bahan dasar beton (misalnya gradasi, kadar air, berat isi, berat jenis dll). Dari komposisi campuran ini diharapkan akan dihasilkan beton yang memenuhi sifat-sifat minimum kekuatan, kekentalan, keawetan dan ekonomis. Prosedur perancangan SCC tidak ditetapkan secara pasti karena banyak 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* (Purwowidiatmoko, A. M., 2017). Metode ini menghasilkan SCC dengan kemampuan alir dan kuat tekan yang tinggi.

Perancangan campuran dilakukan dengan terlebih dahulu merancang mortar mudah mengalir menggunakan *admixture* berupa SP sedikit demi sedikit sampai didapatkan takaran untuk mendapatkan nilai sebar yang ditetapkan. Setelah *flow mortar* siap, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan jumlah kerikil berdasarkan volume rongga agregat dan faktor pengali yaitu koefisien absolut mortar. Perancangan dilakukan untuk menghitung kebutuhan masing-masing bahan penyusun yang menghasilkan 1 m³ mortar, kemudian dimodifikasi kembali untuk menghasilkan 1 m³ SCC.

EFNARC 2002 memberikan panduan penyusunan *mix design* SCC untuk memenuhi semua persyaratan SCC pada kondisi segar.

1. Pasta dengan fluiditas dan viskositas yang memenuhi syarat diperoleh dengan pemilihan dan penyesuaian teliti terhadap komposisi semen dan bahan tambah. *Water powder ratio* kecil, penambahan SP serta *Viscosity Modifying Admixture* (VMA) untuk meningkatkan aliran dengan tetap mempertahankan viskositas perlu ditetapkan dengan tepat.
2. Temperatur harus dijaga tetap stabil agar tidak terjadi retak akibat susut beton yang besar. Kontrol terhadap jumlah semen Tipe I maupun Tipe II perlu diatur sehingga jumlah semen tidak terlalu besar. Perlu penggantian semen dengan sejumlah besar material pengganti (*cement replacement material*) antara lain *fly ash*, *silica fume*, abu sekam padi, abu ampas tebu dll yang memiliki kandungan pozzolan dengan sifat seperti semen ketika mengeras.
3. Pasta semen merupakan media alir agregat. Jumlah pasta cukup besar untuk membantu agregat mengalir. Volume pasta harus lebih besar dari volume rongga antar agregat sehingga seluruh partikel agregat terbungkus penuh dengan pasta dan terlumasi dengan baik. Proses ini meningkatkan *fluiditas* dan mengurangi gesekan antar partikel agregat yang berpotensi menghambat aliran.
4. Rasio agregat kasar terhadap agregat halus dikurangi sehingga partikel agregat kasar

secara individu benar-benar terbungkus oleh mortar. Hal ini mengurangi saling tautan antar agregat dan meningkatkan *passing ability* saat beton mengalir melalui rintangan tulangan yang rapat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Material dan Peralatan Penelitian

Material penyusun SCC yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portland type 1, *fly ash* dari PLTU Paiton Jawa Timur, agregat halus dari Kali Kuning dan *Deltamix SP Powder* dengan merek Deltacrete. Peralatan penelitian meliputi *electric flow table*, *compression testing machine* dan cetakan kubus mortar berukuran 5cm x 5cm x 5cm.

2.2. Mix Design Mortar

Mix design dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap. Tahap awal adalah merancang campuran pasta semen untuk mengisi seluruh rongga antar agregat halus sehingga memperoleh kepadatan maksimal (volume rongga = volume pasta). Pasta terdiri dari semen dan air. Untuk mendapatkan campuran mortar yang memiliki kemampuan mengalir (*flow mortar*) dan kuat tekan yang baik maka dilakukan perancangan dan pengujian menggunakan bahan penggantian semen yaitu *fly ash* dengan komposisi 30%, 35%, 40%, 45% dan 50% serta SP dengan kadar yang berbeda-beda. Dengan demikian, proses perancangan *mix design* SCC dapat dilakukan secara menyeluruh dan terstruktur. Mortar ini memiliki nilai sebar yang berbeda dari nilai sebar mortar pada beton normal. Nilai sebar mortar yang direncanakan dalam penelitian ini $\geq 100\%$. Nilai sebar dihitung sesuai dengan persamaan 1.

$$NSM = \left(\frac{d-d_{bc}}{d_{bc}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

NSM = Nilai sebar mortar (%)

d = Diameter rata-rata *flow mortar* (mm)

d_{bc} = Diameter bagian bawah cincin (mm)

Setelah rancangan campuran mortar terbaik diperoleh, maka tahap akhir adalah menentukan jumlah mortar dan kerikil untuk merancang campuran SCC berdasarkan volume rongga agregat kasar dan koefisien volume absolut mortar.

Parameter *mix design* mortar untuk SCC pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1
Parameter perancangan mortar untuk SCC

| Parameter perancangan | Koefisien perancangan |
|--------------------------|-------------------------|
| Water powder ratio (w/p) | 0,35 |
| Komposisi fly ash (%) | 30, 35, 40, 45, 50 |
| Komposisi SP (%) | 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 |
| Koefisien absolut pasta | 1,3 |

Perhitungan jumlah pasta mengacu pada koefisien w/p, jumlah semen dan SP. Pengurangan jumlah semen dilakukan dengan mengganti semen dengan material pozzolan. Penggantian tersebut sudah dipertimbangkan dalam proses perancangan pasta, mengingat berat jenis tiap-tiap bahan penyusun yang berbeda memberikan dampak yang berbeda dalam rancangan campuran. Seluruh proses perancangan dilakukan untuk memperoleh rancangan campuran 1 m³ mortar. Hasil perancangan dihitung dalam volume dan berat untuk tujuan proses penimbangan material dan pembuatan campuran mortar. Adapun prosedur perancangan adalah sebagai berikut:

1. Perancangan pasta semen

- 1) Berat semen dihitung sesuai berat satuan dan berat jenis semen.
- 2) Persentase bahan pengganti semen ditentukan.
- 3) Kebutuhan bahan pengganti dihitung sesuai persentase terhadap berat semen.
- 4) Persentase SP ditentukan dan kebutuhan bahan dihitung sesuai persentase terhadap berat semen.
- 5) w/p ditentukan
- 6) Kebutuhan air terhadap total powder yang digunakan dihitung.
- 7) Hasil perhitungan seluruh material penyusun pasta dikonversi dari berat ke volume kemudian total volume pasta dihitung.

2. Perancangan mortar

- 1) Pengujian pendahuluan untuk mengetahui karakteristik agregat halus yaitu berat satuan, berat jenis, kadar lumpur, gradasi agregat dan modulus halus butir dilakukan. Karakteristik semen portland yaitu berat jenis dan berat satuan diambil dari katalog produk sesuai SNI.

- 2) Berat pasir per m³ dihitung kemudian konversi menjadi volume solid pasir (V_{ps}).
- 3) Volume rongga pasir ditentukan sesuai persamaan 2.

$$V_r = 1 - V_{ps} \quad (2)$$

Dengan:

V_r = Volume rongga (m³)

V_{ps} = Volume solid pasir (m³)

Volume rongga harus terisi penuh dengan volume pasta (V_p) sehingga rasio volume pasta terhadap volume rongga adalah 1 ($V_p/V_r = 1$).

- 4) Koefisien absolut pasta untuk mendapatkan mortar dengan tingkat aliran dan kuat tekan tinggi ditentukan.
- 5) Pengujian dengan meningkatkan komposisi SP dan fly ash dilaksanakan secara bertahap untuk pengukuran konsistensi, aliran dan kuat tekan mortar. Tingkat aliran dan kuat tekan terbaik digunakan sebagai mortar penyusun SCC.

2.3. Prosedur Pengujian

Data karakteristik material penyusun mortar SCC diperoleh berdasarkan data pengujian sesuai Tabel 2.

Tabel 2
Jenis pengujian karakteristik material

| Material | Jenis Pengujian | Metode Pengujian |
|-----------------------|--|------------------|
| Agregat Halus (Pasir) | Kadar lumpur (%) | SNI 03-4142-1996 |
| | Berat satuan(gr/cm ³) | SNI 03-4804-1998 |
| | Berat jenis | SNI 1970-2008 |
| | Penyerapan air (%) | |
| | Analisa saringan Modulus Halus Butir Gradasi | ASTM C136:2012 |
| Fly ash | Berat Jenis | SNI 1970-2008 |
| SP | Berat Jenis | SNI 1970-2008 |

Data tersebut digunakan untuk menyusun *mix design* mortar. Prosedur perancangan mortar SCC didesain sendiri menggunakan *MS-Excel spreadsheet*. Alat bantu perancangan disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2. Program perancangan mix design mortar

Material penyusun mortar ditimbang sesuai hasil rancangan, diaduk dan diuji konsistensi serta aliran mortar menggunakan *electric flow table*. Konsistensi mortar dilihat dari bentuk sebaran sedangkan aliran mortar diukur saat proses penyebaran selesai. Mortar dicetak dalam cetakan kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm sebanyak 3 buah untuk setiap variasi pengujian. Pengujian tekan dilaksanakan pada umur 3 hari kemudian dihitung perkiraan kuat tekan umur 28 hari. Benda uji menggunakan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen dengan persentase 0%, 30%, 35%, 40%, 45% dan 50% diberi kode PC-FA(%). Penentuan kadar SP menggunakan pengujian PC-FA40 dengan variasi 1,2%, 1,4%, 1,6%, 1,8% dan 2,0% dengan kode PC-FA40-SP(%). Rancangan pengujian serta jumlah benda uji disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Rancangan pengujian serta jumlah benda uji

| Kode benda uji | Jumlah pengujian | |
|--|------------------|-------------------|
| | Flow mortar | Kuat tekan 3 hari |
| PC-FA40-SP1,2 | 4 | 3 |
| PC-FA40-SP1,4 | 4 | 3 |
| PC-FA40-SP1,6 | 4 | 3 |
| PC-FA40-SP1,8 | 4 | 3 |
| PC-FA40 SP2,0 | 4 | 3 |
| Setelah diperoleh komposisi SP terbaik | | |
| PC-FA00-SP(%) | 4 | 3 |
| PC-FA30-SP(%) | 4 | 3 |
| PC-FA35-SP(%) | 4 | 3 |
| PC-FA40-SP(%) | 4 | 3 |
| PC-FA45-SP(%) | 4 | 3 |
| PC-FA50-SP(%) | 4 | 3 |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Material dan Peralatan Penelitian

Hasil pengujian karakteristik material penyusun mortar disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil uji karakteristik material penyusun mortar

| Karakter material | Material | | | | |
|-----------------------------------|----------|------|---------|------|-------|
| | Semen | Air | Fly ash | SP | Pasir |
| Berat satuan (kg/m ³) | 1250 | 1000 | - | - | 1480 |
| Berat jenis | 3,15 | 1 | 2,63 | 2,34 | 2,7 |
| Gradasi MHB | - | - | - | - | 3,82 |
| Penyerapan air (%) | - | - | - | - | 1,01 |
| Volume rongga (%) | - | - | - | - | 45 |

3.2. Rancangan Campuran, Pengujian Aliran dan Kuat Tekan Mortar

Data pada Tabel 4 digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan mortar. *Mix design* 1 m³ mortar PC-FA40 dengan berbagai variasi kadar SP disajikan pada Tabel 5. Kadar SP terbaik yang memberikan *flow mortar* dan kuat tekan maksimum dipilih untuk merencanakan mortar selanjutnya.

Tabel 5 Mix design 1 m³ mortar PC-FA40 dengan berbagai variasi SP

| Kode Benda Uji | Berat Material per 1 m ³ mortar (kg) | | | | |
|----------------|---|-------|---------|------|--------|
| | Semen | Air | Fly ash | SP | Pasir |
| SP1,2 | 504,5 | 297,8 | 336,3 | 10,1 | 1110,6 |
| SP1,4 | 503,4 | 297,8 | 335,6 | 11,7 | 1110,6 |
| SP1,6 | 502,3 | 297,7 | 334,9 | 13,4 | 1110,6 |
| SP1,8 | 501,2 | 297,6 | 334,1 | 15,0 | 1110,6 |
| SP2,0 | 500,1 | 297,5 | 333,4 | 16,7 | 1110,6 |

Data di atas kemudian dihitung dan ditimbang untuk keperluan 3 buah kubus dengan volume 0,00075 m³ kemudian dibuat campurannya. Material penyusun mortar disajikan pada Gambar 3. Proses pembuatan campuran dan pengujian *flow mortar* disajikan pada Gambar 4. Hasil uji konsistensi dan aliran mortar disajikan pada Gambar 5.



Gambar 3. Material penyusun mortar (superplasticizer, pasir, fly ash dan semen)



Gambar 4. Proses pencampuran dan pengujian mortar



Gambar 5. Konsistensi dan aliran mortar PC-FA40 dengan berbagai variasi SP

Gambar 5 menunjukkan konsistensi campuran PC-F40 dengan w/p rendah dan tambahan SP dengan hasil baik. Konsistensi tampak dalam bentuk bulat setelah digetarkan 25 ketukan. Pada penggunaan SP 1,8% tampak muncul gelembung udara dalam mortar setelah penggetaran yang berpotensi memunculkan *honeycomb* atau rongga pada beton setelah mengeras. Hal tersebut perlu dihindari dengan mengatur komposisi yang tepat antara *powder*, w/p dan kadar SP yang digunakan. Semakin besar kadar SP, campuran menjadi semakin encer dan kuat tekan juga menurun. Uji tekan dilakukan pada benda uji kubus umur 3 hari. Benda uji kubus mortar sebelum dan setelah pengujian disajikan pada Gambar 6. Hasil uji tekan dan *flow mortar* PC-FA40 disajikan pada Tabel 6, sedangkan grafik hubungan komposisi SP terhadap kuat tekan dan aliran mortar PC-FA40 disajikan pada Gambar 7.

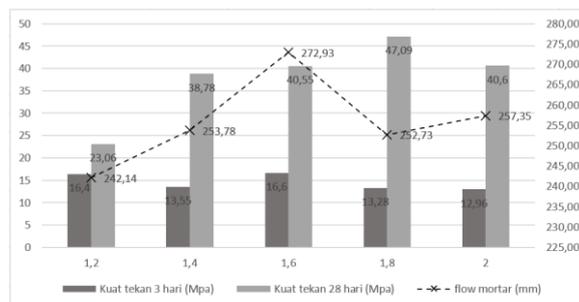


Gambar 6. Kubus mortar sebelum dan setelah pengujian tekan

Kadar SP 1,6% menghasilkan aliran mortar tertinggi yaitu 273 mm dengan kuat tekan 16,6 MPa (3 hari) dan 40,55 MPa (28 hari) digunakan sebagai kadar SP untuk perancangan mortar selanjutnya. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada penggunaan SP 1,8% yaitu 47,09 MPa namun ada potensi terjadi rongga udara dalam beton. *Mix design* 1 m³ mortar PC-FA dengan berbagai variasi *fly ash* menggunakan SP 1,6% disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6 Hasil uji kuat tekan dan *flow mortar* PC-FA40

| Kode benda uji | kuat tekan 3 hari (MPa) | Hasil Uji | | |
|----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|
| | | Kuat tekan 28 hari (MPa) | <i>flow mortar</i> (mm) | Nilai sebar (%) |
| SP1,2 | 16,4 | 23,06 | 242,14 | 147,1 |
| SP1,4 | 13,55 | 38,78 | 253,78 | 159,0 |
| SP1,6 | 16,6 | 40,55 | 272,93 | 178,5 |
| SP1,8 | 13,28 | 47,09 | 252,73 | 157,9 |
| SP2,0 | 12,96 | 40,6 | 257,35 | 162,6 |

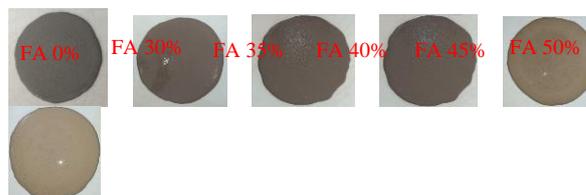


Gambar 7. Hasil uji kuat tekan dan *flow mortar* PC-FA40 dengan variasi SP (hasil analisis)

Tabel 7 *Mix design* 1 m³ mortar PC-FA dengan berbagai variasi *fly ash* menggunakan SP 1,6%

| Kode Benda Uji | Berat Material per 1 m ³ mortar (kg) | | | | |
|----------------|---|-------|----------------|------|--------|
| | Semen | Air | <i>Fly ash</i> | SP | Pasir |
| PC-FA0 | 868,1 | 308,7 | 0 | 13,9 | 1110,6 |
| PC-FA30 | 591,3 | 300,4 | 253,4 | 13,5 | 1110,6 |
| PC-FA35 | 546,6 | 299,0 | 294,3 | 13,4 | 1110,6 |
| PC-FA40 | 502,3 | 297,7 | 334,9 | 13,4 | 1110,6 |
| PC-FA45 | 458,4 | 296,4 | 375,0 | 13,3 | 1110,6 |
| PC-FA50 | 414,9 | 295,1 | 414,9 | 13,3 | 1110,6 |

Data pada Tabel 7 digunakan untuk membuat campuran mortar dan benda uji kubus untuk mengetahui pengaruh komposisi *fly ash* terhadap konsisten, aliran dan kuat tekan. Hasil pengujian konsistensi mortar disajikan pada Gambar 8.

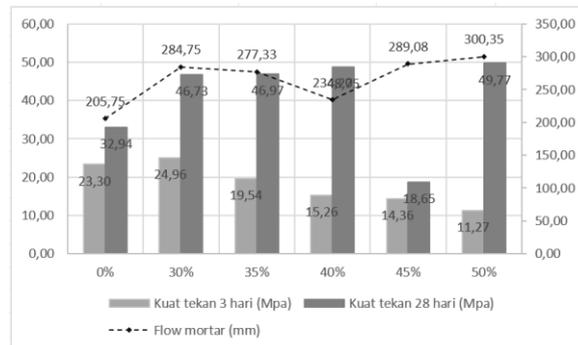


Gambar 8. Konsistensi dan aliran mortar dengan berbagai variasi *fly ash* menggunakan SP 1,6%

Gambar 8 menunjukkan warna campuran mortar berubah dari abu-abu menjadi semakin kecoklatan sesuai kadar *fly ash*. Bentuk sebaran setelah 25 ketukan semakin sempurna seiring meningkatnya *fly ash*. Butiran *fly ash* yang lebih halus dari butiran semen meningkatkan konsistensi campuran mortar dengan sangat baik. Hasil uji kuat tekan dan *flow mortar* PC-FA menggunakan SP 1,6% disajikan pada Tabel 8 dan secara grafis disajikan pada Gambar 9.

Tabel 8
Hasil uji kuat tekan dan *flow mortar* PC-FA menggunakan SP 1,6%

| Kode benda uji | Hasil Uji | | | |
|----------------|-------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|
| | Kuat tekan 3 hari (MPa) | Kuat tekan 28 hari (MPa) | Flow mortar (mm) | Nilai sebar (%) |
| PC-FA0 | 23,30 | 32,94 | 205,75 | 109,9 |
| PC-FA30 | 24,96 | 46,73 | 284,75 | 190,6 |
| PC-FA35 | 19,54 | 46,97 | 277,325 | 183,0 |
| PC-FA40 | 15,93 | 48,75 | 234,2 | 139,0 |
| PC-FA45 | 14,36 | 18,65 | 289,075 | 195,0 |
| PC-FA50 | 11,27 | 49,77 | 300,35 | 206,5 |



Gambar 9. Hasil uji kuat tekan dan *flow mortar* PC-FA-SP1,6 dengan variasi *fly ash* (hasil Analisa)

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kadar *fly ash* sebagai substitusi parsial semen mempengaruhi kuat tekan. PC-FA50 menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu 49,77 MPa, 51% lebih tinggi dari PC-FA0 yang memiliki kuat tekan 32,94 MPa. Penggantian semen dengan *fly ash* pada komposisi tepat dapat meningkatkan kuat tekan. Pada umur 3 hari, peningkatan kadar *fly ash* menurunkan kuat tekan. Hal ini disebabkan karena semen lebih cepat bereaksi pada umur awal mortar. Berkurangnya kadar semen mengakibatkan pada umur awal kuat tekan menurun. *Fly ash* bereaksi lebih lambat karena merupakan pozzolan yang bereaksi dengan air dan kapur (CaOH₂) yang merupakan hasil sampingan reaksi hidrasi semen.

Kuat tekan mortar meningkat rata-rata 143% dari umur 3 ke 28 hari. Semakin tinggi kadar *fly ash*, kuat tekan juga meningkat. Anomali terjadi pada hasil uji PC-FA45 dengan kuat tekan 18,65 MPa, 43% lebih rendah dari PC-FA0. Substitusi semen dengan *fly ash* meningkatkan konsistensi, aliran dan kuat tekan mortar.

3.3. Analisa berat satuan

Campuran dirancang untuk menghasilkan 1 m³ mortar dengan faktor yang terus berubah adalah komposisi pasta karena adanya variasi kadar *fly ash* dan SP. Perubahan komposisi pasta berpengaruh terhadap berat satuan. Berat satuan diperoleh dengan membagi berat mortar dan volume kubus seperti disajikan pada Tabel 9. Hubungan komposisi SP terhadap berat satuan disajikan pada Gambar 10, sedangkan hubungan komposisi *fly ash* terhadap berat satuan disajikan pada Gambar 11.

Tabel 9
Berat satuan mortar

| Kode benda uji | Berat satuan (kg/m ³) | | |
|--|-----------------------------------|---------|---------|
| | Rencana | 3 hari | 28 hari |
| PC-FA40-SP1,2 | 2259,32 | 2330,68 | 2260,47 |
| PC-FA40-SP1,4 | 2259,06 | 2217,32 | 2391,54 |
| PC-FA40-SP1,6 | 2258,79 | 2219,14 | 2453,06 |
| PC-FA40-SP1,8 | 2258,50 | 2213,51 | 2410,90 |
| PC-FA40-SP2,0 | 2258,24 | 2138,56 | 2380,03 |
| Setelah diperoleh komposisi SP terbaik | | | |
| PC-FA00-SP1,6 | 2301,20 | 2179,12 | 2251,70 |
| PC-FA30-SP1,6 | 2269,12 | 2209,57 | 2317,91 |
| PC-FA35-SP1,6 | 2263,94 | 2193,75 | 2348,14 |
| PC-FA40-SP1,6 | 2258,83 | 2171,36 | 2411,64 |
| PC-FA45-SP1,6 | 2253,71 | 2229,92 | 2375,43 |
| PC-FA50-SP1,6 | 2248,67 | 2194,26 | 2435,91 |

Tabel 9 menunjukkan berat satuan hasil pengujian 3 hari lebih kecil dari rencana awal sedangkan pada umur 28 hari meningkat. Berat mortar pada umur awal mengindikasikan adanya susut akibat reaksi hidrasi semen. Setelah *fly ash* bereaksi kepadatan mortar meningkat dan berdampak pada peningkatan berat satuan dan kuat tekan. Setelah beton mengeras, dimensi

kubus mengalami perubahan. PC-FA00 menunjukkan susut terbesar karena penggunaan semen dalam jumlah sangat banyak.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan campuran mortar dapat digunakan sebagai media alir agregat kasar pada SCC karena seluruhnya menghasilkan konsistensi dan aliran yang memenuhi syarat.
2. Kadar *fly ash* meningkatkan konsistensi dan aliran mortar. Semakin banyak *fly ash* dalam campuran, bentuk lingkaran pasca pengujian semakin sempurna dan diameter lingkaran mortar semakin besar.
3. *Fly ash* bereaksi lebih lambat dibandingkan semen. Di umur awal, semen lebih dominan mempengaruhi kuat tekan sedangkan pengaruh *fly ash* belum terlihat. Pada umur 28 hari semakin besar kadar *fly ash* kuat tekan semakin meningkat.
4. Penggunaan SP sebesar 1,6% pada PC-FA50 memberikan hasil terbaik dengan kuat tekan sebesar 49,77 MPa dan *flow mortar* 300,35 mm.
5. Kepadatan, berat satuan dan kuat tekan meningkat karena partikel *fly ash* yang halus mengisi seluruh pori-pori mortar serta menghasilkan perekat tambahan akibat reaksi hidrasi antara *fly ash*, air dan kapur hasil sampingan hidrasi semen.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, A., & Riyadi, M. (2019). Kualitas Beton SCC dengan Substitusi Agregat Halus Tailing Tambang Emas Daerah Pongkor. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(1), 59–68.
- EFNARC. (2002). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. *EFNARC*, 1–32.
- JTP Kolompo. (2017). Beton SCC (Self Compacting Concrete). *Universitas Atma Jaya*, 1–15.
- 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>
- Nuraini, K., Budiman, Y. I., & Subrata, B. (2019). Penggunaan abu terbang dalam

campuran beton sedikit semen portland. *Dinas Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, September*.

- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>
- Purwowidiatmoko, A. M., (2017). *Perancangan Flow Mortar untuk pembuatan Self Compacting Concrete dengan FAS 0,3*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Setiawati, M. (2018). Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton. *Prosiding Semnastek*.
- Tjokrodinuljo, K., (2007) *Teknologi Beton*, Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.
- Ulitua, Gole (2023) *Perencanaan Campuran Mortar Kering (Dry Mix) Untuk Grouting Dengan Debu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Parsial Semen*, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta
- Wenno, R., Wallah, S. E., & Pandaleke, R. (2014). Kuat tekan mortar dengan menggunakan abu terbang (fly ash) asal PLTU Amurang sebagai substitusi parsial semen. *Jurnal Sipil Statik*, 2(5).
- Widodo S. (2003). Optimalisasi kuat tekan Self Compacting Concrete Dengan Cara Trail Mix Komposisi Agregat dan Filler pada Campuran Adukan Beton, *Universitas Negeri Yogyakarta*, 1–16.