

## **PENGARUH FLY ASH SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP DURASI INITIAL SETTING TIME, FLOWABILITY DAN KUAT TEKAN UMUR 1 HARI BETON SELF-COMPACTING CONCRETE (SCC) DENGAN PENAMBAHAN 0,15% CITRIC ACID**

**Adji Putra Abriantoro<sup>1\*</sup>, Taufiq Lilo Adi Sucipto<sup>2</sup>, Ernawati Sri Sunarsih<sup>2</sup>**

<sup>1), 2)</sup> Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan

Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir Sutami No.36, Kentingan, Kec. Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57126

\*Email: [abrian@student.uns.ac.id](mailto:abrian@student.uns.ac.id)

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai beberapa hasil, yaitu: (1) mengevaluasi pengaruh penggunaan fly ash sebagai pengganti semen dalam beton SCC dengan penambahan 0,15% citric acid sebagai bahan penghambat terhadap durasi waktu pengerasan awal, (2) mengamati dampak penggunaan fly ash sebagai pengganti semen dalam beton SCC dengan penambahan 0,15% citric acid sebagai bahan penghambat terhadap kecenderungan beton segar untuk mengalir, (3) mengevaluasi pengaruh penggunaan fly ash sebagai pengganti semen dalam beton SCC dengan penambahan 0,15% citric acid sebagai bahan penghambat terhadap kekuatan tekan beton setelah satu hari. Penelitian ini menggunakan tiga sampel dari setiap variasi, dengan rincian 15 sampel untuk pengujian kekuatan tekan beton setelah satu hari, 15 sampel untuk pengujian kecenderungan beton segar untuk mengalir, dan 15 sampel untuk pengujian durasi waktu pengerasan awal, sehingga total terdapat 45 benda uji dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa: (1) semakin tinggi persentase penggunaan fly ash, kekuatan tekan beton akan semakin menurun, walaupun pada variasi 0%, 15%, dan 25%, kekuatan tekan beton sudah mencapai 16% dari kekuatan tekan karakteristik K-850 setelah satu hari, (2) semakin tinggi persentase penggunaan fly ash, kecenderungan beton segar untuk mengalir akan meningkat, dengan nilai slump flow tertinggi terjadi pada persentase penggunaan fly ash sebesar 35% dengan diameter alir sebesar 789 mm. Pada kelima variasi benda uji, semua benda uji memenuhi standar ACI No.237R-07 untuk kriteria beton SCC, (3) semakin tinggi persentase penggunaan fly ash, durasi waktu pengerasan awal akan semakin lama, dengan durasi terlama mencapai 140 menit pada persentase penggunaan fly ash sebesar 35%..

**Kata kunci:** Beton Scc, Fly Ash, Flowability, Initial Setting Time, Kuat Tekan 1 Hari

### **Abstract**

The objectives of the research were as follows: (1) To examine the impact of fly ash as a substitute for cement in SCC on the initial setting time duration, with the addition of 0.15% citric acid as a retarder. (2) To assess the influence of fly ash as a substitute for cement in SCC on the flowability of fresh concrete, with the addition of 0.15% citric acid as a retarder. (3) To investigate the effect of fly ash as a substitute for cement in SCC, with the addition of 0.15% citric acid as a retarder, on the compressive strength of the concrete after 1 day. The research involved a total of 45 test specimens, with 3 samples taken from each variation. This comprised 15 specimens for the 1-day compressive strength test, 15 specimens for the flowability test, and 15 specimens for the initial setting time test. Based on the findings, it was concluded that: (1) The compressive strength decreases as the percentage of fly ash increases. However, for the 0%, 15%, and 25% variations, the compressive strength reached 16% of the characteristic compressive strength of K-850 after 1 day. (2) The flowability of the fresh concrete increases with the higher percentage of fly ash, with the maximum slump flow observed at 35% fly ash, resulting in a flow diameter of 789 mm. All test specimens from the five variations met the SCC criteria set by ACI No.237R-07. (3) The initial setting time duration prolongs as the percentage of fly ash increases, with the longest duration recorded at 35% fly ash, reaching 140 minutes..

**Keywords:** Concrete, Fly Ash, Flowability, Initial Setting Time, 1 Day Age Compressive Strength

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan umum yang sering terjadi dalam konstruksi beton adalah penurunan mutu beton yang dihasilkan, dan salah satu faktor penyebabnya adalah kurangnya pemadatan beton segar dengan baik. Hal ini menyebabkan tingkat kepadatan beton yang tidak optimal, yang pada akhirnya akan berdampak pada penurunan kemampuan beton untuk menahan beban yang diberikan. Teknologi self-compacting concrete (SCC) diterapkan pada struktur dengan tulangan kompleks yang sulit untuk dilakukan pemadatan oleh manusia. Dengan demikian, SCC dapat mengisi setiap ruang dalam bekisting secara otomatis. Penggunaan self-compacting concrete dapat meningkatkan kualitas beton karena menghindari potensi kegagalan yang disebabkan oleh pemadatan manual. Pemadatan yang tidak optimal selama proses pengecoran dapat mengurangi daya tahan beton dan mengurangi kekuatan tekan beton itu sendiri. Di sisi lain, dengan self-compacting concrete, struktur beton menjadi lebih kokoh, terutama di daerah penulangan yang padat, dan waktu pengecoran juga menjadi lebih cepat. Selain itu, penggunaan self-compacting concrete pada umumnya dapat signifikan meningkatkan kekuatan tekan pada tahap awal yang lebih baik daripada beton konvensional (Ludwig et al, 2001). Hal ini terkait dengan komposisi campuran beton SCC yang sedikit berbeda dari beton konvensional, di mana beton SCC membutuhkan aditif kimia berupa superplasticizer yang memudahkan pengolahan beton segar dan memenuhi tiga persyaratan beton SCC, yaitu kemampuan untuk melewati rongga-rongga sempit, kemampuan mengisi bekisting secara merata, dan ketahanan terhadap segregasi (EFNARC, 2000).

Saat ini, penelitian mengenai beton self-compacting concrete sedang dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang diteliti. Aspek yang dipertimbangkan termasuk kekuatan tekan (compressive strength), daya tahan (durability), kekuatan lentur, porositas, dan bahkan kekuatan tekan beton yang sangat tinggi hingga mencapai 120 MPa. Hal ini dapat dicapai melalui penggunaan bahan tambahan seperti superplasticizer yang dapat mengurangi rasio air-semen (w/c) hingga mencapai nilai  $w/c = 0,3$  atau bahkan lebih rendah lagi (Juvas, 2000). Dalam memenuhi kebutuhan akan beton mutu tinggi yang sesuai dengan kriteria SCC, perlu tetap memperhatikan dampak lingkungan. Oleh karena itu, telah muncul pemikiran untuk memanfaatkan limbah industri yang memiliki potensi besar sebagai salah satu substitusi dalam desain campuran beton mutu tinggi yang sesuai dengan kriteria SCC. Kadang-kadang kita tidak menyadari bahwa penggunaan semen telah memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap pemanasan global. Fakta yang mengkhawatirkan adalah dalam produksi setiap ton semen, rata-rata 0,87 ton emisi CO<sub>2</sub> dilepaskan ke atmosfer. Menurut International Energy Authority (IEA), produksi semen portland menyumbang sekitar 7% dari total emisi karbon dioksida yang dihasilkan oleh manusia (Damtoft, 2008).

Untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang terlepas selama produksi semen, telah dilakukan beberapa penelitian untuk mengurangi produksi semen tersebut. Salah satu pilihan adalah menggunakan semen komposit yang mencampurkan semen dengan fly ash, yang merupakan abu terbang dari pembakaran batu bara. Berdasarkan penelitian oleh Bonavetti (2001) dan Weerdt (2011), fly ash, ketika dicampur dengan semen, membentuk kalsium karboaluminat hidrat ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ ), yang menghasilkan beton yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Karena bahan utama dalam pembuatan beton yang menyumbang pada biaya produksi yang tinggi adalah semen, maka fly ash dapat digunakan sebagai salah satu bahan pengganti semen untuk mengurangi biaya produksi beton SCC sekaligus meningkatkan kualitas beton SCC itu sendiri.

Salah satu aplikasi beton SCC dalam industri terjadi di perusahaan beton ready mix, di mana proses pengiriman beton segar dari batching plant ke lokasi pengecoran harus diperhatikan dengan baik, terutama dalam hal jarak dan waktu pengiriman. Masalah kemacetan lalu lintas sering menjadi permasalahan utama di banyak negara berkembang. Jarak dan waktu antara batching plant dan lokasi pengecoran memiliki batasan maksimum yang dapat mempengaruhi tingkat slump beton segar, sehingga dapat mengurangi kualitasnya. Dalam kondisi seperti ini, untuk memastikan bahwa campuran beton tetap dalam kondisi plastis selama proses pengiriman dan menjaga kualitasnya hingga tahap

pengecoran, bahan retarder ditambahkan untuk memperlambat waktu pengerasan semen. Namun, karena retarder yang diproduksi secara fabrikasi memiliki harga yang kurang ekonomis, salah satu upaya yang dilakukan adalah menggunakan asam sitrat (citric acid) sebagai retarder beton yang lebih murah dan lebih mudah ditemukan dibandingkan retarder yang diproduksi secara industri. Sebagai perbandingan, harga citric acid (cap gajah) sekitar Rp. 2.500,- per 200 gram, sedangkan harga retarder fabrikasi, contohnya produk dari PT.BASF, rata-rata di atas Rp. 20.000,- per 1 liter (sumber: katalog produk PT.BASF Indonesia).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi apakah terdapat pengaruh dari variasi substitusi fly ash dalam beton SCC dengan penambahan 0,15% citric acid sebagai retarder terhadap kuat tekan pada usia 1 hari, kealiran (flowability), dan waktu pengerasan awal (initial setting time).

## **2. METODE PENELITIAN**

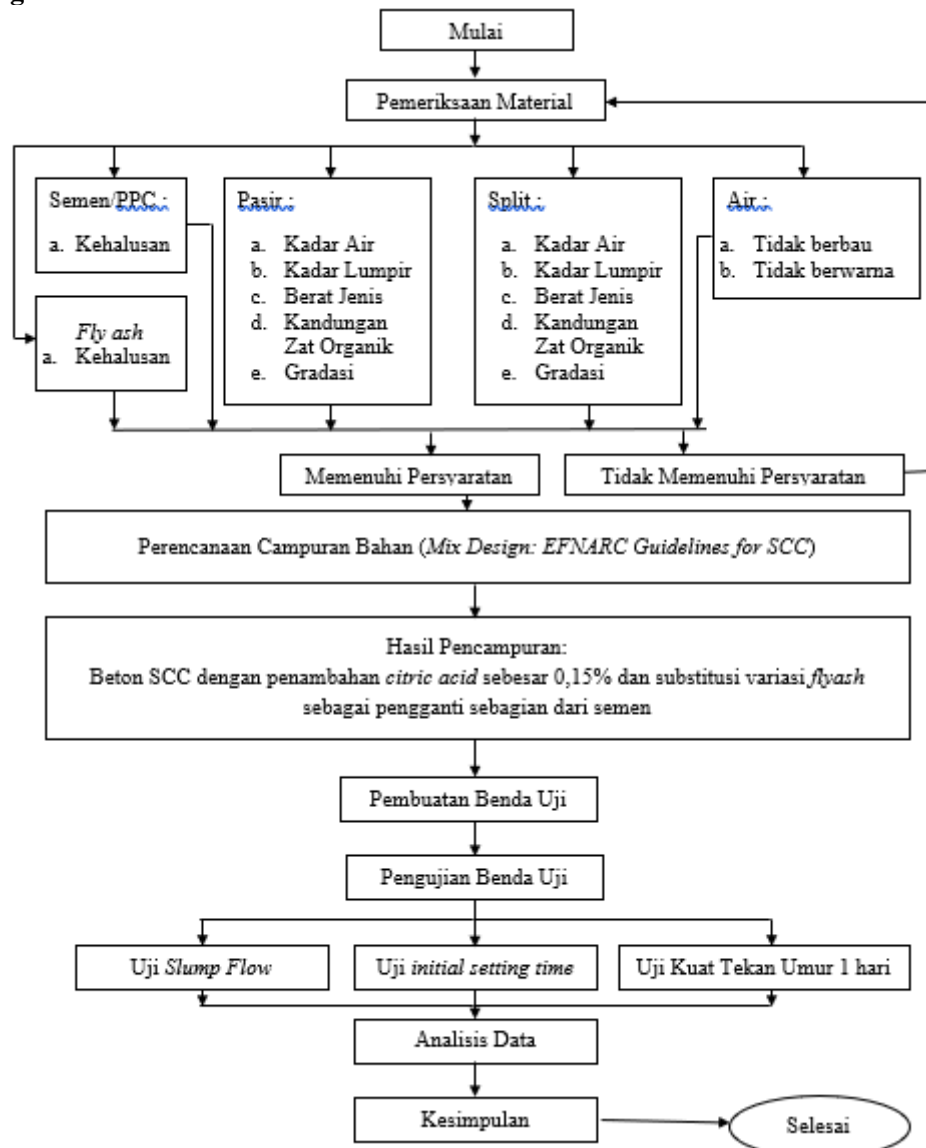
### **2.1 Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini, terdapat tiga sampel untuk setiap variasi, dengan total keseluruhan sampel sebanyak 45. Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini memiliki komposisi berbeda, yaitu 0%, 15%, 25%, dan 35%. Setiap variasi juga melibatkan penambahan citric acid sebesar 0,15% dan penambahan superplastisizer dengan merek dagang Master Ease 5010 sebanyak 1,2%.

Variabel yang dikendalikan dalam penelitian ini adalah variasi penggunaan fly ash, sementara variabel yang diukur adalah kuat tekan beton pada usia 1 hari, kecenderungan aliran (flowability), dan waktu pengaturan awal (initial setting time). Untuk menguji kuat tekan beton pada usia 1 hari, dilakukan pengujian pada sampel kubus berukuran 150 mm untuk menentukan persentase fly ash yang optimal guna mencapai target kuat tekan rencana K-850 sebesar 16%. Pengujian flowability dilakukan dengan mengukur diameter maksimum slump flow yang harus memenuhi standar EFNARC. Sedangkan pengujian initial setting time dilakukan menggunakan alat uji vicat pada pasta binder, dengan mengukur penurunan setiap 15 menit hingga jarum penetrasi mencapai angka  $\pm 25$  mm.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan SPSS 24.0 dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana untuk menentukan apakah variasi fly ash berpengaruh atau tidak terhadap beton SCC dengan penambahan 0,15% citric acid sebagai retarder.

## 2.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.1. Bagan Alir Penelitian

## 2.3 Metode Pengumpulan Data

### 2.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah beton SCC keras berbentuk kubus dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm berjumlah 15 buah, 15 sampel beton segar SCC, dan 15 sampel variasi pasta binder SCC.

### 2.3.2 Sampel

Benda uji dalam penelitian ini adalah 15 buah benda uji kuat tekan, 15 sampel beton segar SCC untuk pengujian *slump flow*, dan 15 sampel dari variasi pasta binder untuk pengujian *initial setting time*. Penelitian ini menggunakan seluruh anggota populasi untuk dijadikan sampel. Berikut rincian sampel benda uji pada table dibawah ini:

Tabel 3.1 Rincian sampel benda uji

| No.           | Presentasi<br><i>Flyash</i> | <i>Citric acid</i> | Uji Tekan<br>1 hari | Uji <i>Slump</i><br><i>Flow</i> | Uji <i>Initial</i><br><i>Setting time</i> |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|---|
| 1             | 0%                          | 0%                 | 3 sampel            | 3 sampel                        | 3 sampel                                  |
| 2             | 0%                          | 0,15%              | 3 sampel            | 3 sampel                        | 3 sampel                                  |
| 3             | 15%                         | 0,15%              | 3 sampel            | 3 sampel                        | 3 sampel                                  |
| 4             | 25%                         | 0,15%              | 3 sampel            | 3 sampel                        | 3 sampel                                  |
| 5             | 35%                         | 0,15%              | 3 sampel            | 3 sampel                        | 3 sampel                                  |
| <b>Jumlah</b> |                             |                    | 15 sampel           | 15 sampel                       | 15 sampel                                 |

## 2.4 Teknik Pengumpulan Sampel

Dalam penelitian ini, teknik sampling yang digunakan adalah sampling jenuh. Dimana semua anggota populasi yang berjumlah 45 sampel dijadikan sebagai benda uji, yang terdiri dari:

1. 3 buah beton SCC berbentuk kubus (15mm x 15mm x 15mm) dengan konsentrasi substitusi *flyash* sebesar 0% serta tidak adanya penambahan *citric acid*.
2. 3 buah beton SCC dengan penambahan *citric acid* sebesar 0,15% berbentuk kubus (150 mm x 150 mm x 150 mm) dengan konsentrasi substitusi *flyash* sebesar 0%
3. 3 buah beton SCC dengan penambahan *citric acid* sebesar 0,15% berbentuk kubus (150 mm x 150 mm x 150 mm) dengan konsentrasi substitusi *flyash* sebesar 15%
4. 3 buah beton SCC dengan penambahan *citric acid* sebesar 0,15% berbentuk kubus (150 mm x 150 mm x 150 mm) dengan konsentrasi substitusi *flyash* sebesar 25%
5. 3 buah beton SCC dengan penambahan *citric acid* sebesar 0,15% berbentuk kubus (150 mm x 150 mm x 150 mm) dengan konsentrasi substitusi *flyash* sebesar 35%
6. Masing-masing 3 sampel beton segar dari 5 variasi bahan untuk pengujian *slump flow*.
7. Masing-masing 3 sampel pasta binder SCC dari 5 variasi bahan untuk pengujian *initial setting time* (uji vicat).

## 2.5 Teknik Pengumpulan Data

### 2.5.1 Identifikasi Variabel

Dalam penelitian ini dijelaskan tiga variabel yaitu Independen (Variabel Bebas), Variabel Dependent (Variabel Terikat), dan Variabel Kontrol, sebagai berikut:

- a. Variabel Independent (Variabel Bebas)

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi penggunaan abu terbang (*fly ash*) pada beton SCC.

- b. Variabel Dependent (Variabel Terikat)

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

- 1) Kuat tekan umur 1 hari beton akibat substitusi variasi *fly ash*
- 2) *Flowability* beton akibat substitusi variasi *fly ash*
- 3) *Initial setting time* beton akibat substitusi variasi *fly ash*

- c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah benda uji, tempat penelitian dan alat yang digunakan sama. Waktu dan tempat pelaksanaan uji bahan dan *mixing* bahan dilaksanakan pada sekitar bulan Desember 2018 berlokasi di Laboratorium Teknik dan Mutu PT. Wijaya Karya Beton Tbk, Boyolali.

### 2.5.2 Sumber Data

Sumber data dalam pelaksanaan penelitian ini dikelompokkan menjadi dua yaitu:

- a. Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil eksperimen dan pengamatan di laboratorium, yang berupa hasil uji kuat tekan, *slump flow*, dan *initial setting time* beton SCC.
- b. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari referensi penunjang yang berkaitan dengan penelitian yang dilaksanakan, yang berupa buku-buku penunjang maupun hasil penelitian yang terdahulu atau yang relevan dengan penelitian yang dilaksanakan.

Data yang digunakan dalam analisis hasil penelitian ini adalah data primer, sedangkan data sekunder digunakan untuk penunjang analisis data

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Mix Design Beton

Dalam pembuatan beton SCC, digunakan metode mix design yang merupakan modifikasi dari metode mix design ACI. Modifikasi ini menggabungkan pendekatan mix design sederhana yang dikembangkan oleh Okamura dari Jepang pada awal 1980-an. Hal ini dilakukan karena metode mix design konvensional tidak lagi sepenuhnya cocok untuk mencapai hasil mix design yang optimal pada beton SCC. Oleh karena itu, modifikasi mix design diperlukan. Adapun penentuan komposisi awal tiap bahan adalah sebagai berikut :

1. Agregat kasar dibatasi jumlahnya sekitar kurang lebih 50 % dari total volume beton supaya bisa mengalir dan memadat sendiri tanpa alat pemadat.
2. Perbandingan volume agregat halus dan agregat kasar adalah 51% : 49%
3. Perbandingan Semen dan bahan pozzolan seperti limbah *fly ash* diambil variasi 0%, 15% , 25%, dan 35%.
4. Dosis *admixture* (merek yang digunakan: Master Ease 5010) diberikan dosis 1,2% dari jumlah total penggunaan bahan *cementitious*.
5. Dosis *citric acid* diberikan dosis sebesar 0,15% dari jumlah total penggunaan semen.
6. Jumlah benda uji dari variasi sample berjumlah masing-masing 3 buah benda uji kubus ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm

Tahapan selanjutnya adalah perencanaan *mix design* perencanaan mutu beton padat mandiri dilaksanakan menggunakan EFNARC (*The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*) tahun 2005.

Berikut adalah langkah-langkah dalam perhitungan *mix design* :

1. Jenis semen ditentukan yaitu semen Portland tipe 1
2. Untuk nilai-nilai tertentu EFNARC telah menentukan standar sebagai berikut:

| Bahan         | Kadar Terhadap Berat<br>(kg/m <sup>3</sup> )               | Kadar Terhadap Volume<br>(l/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|--|--|
| <i>Binder</i> | 380-600  | -  |
| Air           | 150-210  | 150-230                                      |
| Agregat Kasar | 750-1000   | 270-360                                      |
| Agregat Halus | Penggunaan agregat halus adalah 45%-55% dari berat agregat |  |
| FAS           | 0,30-0,55  | 0,85-1,10                                    |

3. Setelah itu langkah selanjutnya adalah perbandingan volume agregat halus dan agregat kasar adalah 51% : 49%
4. Perbandingan Semen dan bahan pozzolan seperti limbah *fly ash*
5. Dosis *admixture* (merek yang digunakan: Master Ease 5010) diberikan dosis 1,2% dari jumlah total penggunaan semen.
6. Dosis *citric acid* diberikan dosis sebesar 0,15% yang sudah ditentukan dari jumlah total penggunaan *cementitious*.

Perencanaan campuran *mix design* beton memadat mandiri atau *self-compacting concrete* (SCC) dilaksanakan menggunakan metode *simple mix design* dengan mengacu pada standar EFNARC (*The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*) tahun 2005. Data-data perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan *Mix Design* untuk 3 benda uji kubus 150 mm

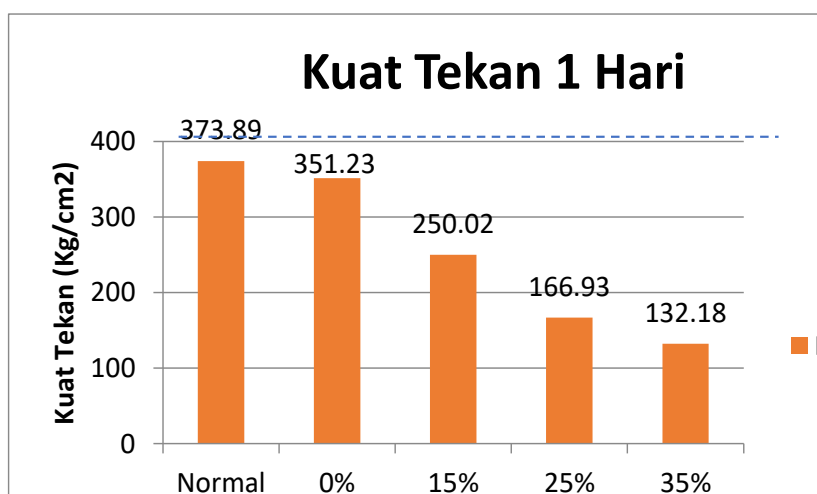
|   | Variasi Fly Ash | Kebutuhan Bahan |                  |         |            |              |         |               |
|---|-----------------|-----------------|------------------|---------|------------|--------------|---------|---------------|
|   |                 | Fly Ash (Kg)    | Citric acid (Kg) | PC (Kg) | Pasir (Kg) | Kerikil (Kg) | Air (L) | Admixture (L) |
| 1 | Normal          | 0               | 0                | 6,98    | 10,20      | 9,12         | 2,10    | 0,083         |
| 2 | 0%              | 0               | 0,010            | 6,98    | 10,27      | 9,12         | 2,09    | 0,083         |
| 3 | 15%             | 1,04            | 0,010            | 5,93    | 10,04      | 8,97         | 2,09    | 0,071         |
| 4 | 25%             | 1,74            | 0,010            | 5,23    | 9,94       | 8,88         | 2,09    | 0,062         |
| 5 | 35%             | 2,44            | 0,010            | 4,54    | 9,83       | 8,78         | 2,09    | 0,054         |

### 3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan 1 Hari

Pengujian kuat tekan beton SCC umur 1 hari ini diperoleh dari pengujian beton keras dengan sampel kubus ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm yang telah berumur ±24 jam setelah dilakukan pengecoran kedalam cetakan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat CTM. Hasil perhitungan kuat tekan beton umur 1 hari dapat dilihat pada tabel 3.2 dan gambar 3.1.

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 1 Hari

| Kode Sampel | Kuat Tekan (Kg/Cm <sup>2</sup> ) | Rata-Rata (Kg/Cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Normal (1)  | 385,22                           | 373,89                          |
| Normal (2)  | 362,56                           |                                 |
| Normal (3)  | 373,89                           |                                 |
| 0% (1)      | 358,03                           | 351,23                          |
| 0% (2)      | 351,23                           |                                 |
| 0% (3)      | 344,43                           |                                 |
| 15% (1)     | 353,79                           | 250,02                          |
| 15% (2)     | 246,99                           |                                 |
| 15% (3)     | 249,26                           |                                 |
| 25% (1)     | 172,22                           | 166,93                          |
| 25% (2)     | 165,42                           |                                 |
| 25% (3)     | 163,15                           |                                 |
| 35% (1)     | 126,90                           | 132,18                          |
| 35% (2)     | 133,69                           |                                 |
| 35% (3)     | 135,96                           |                                 |



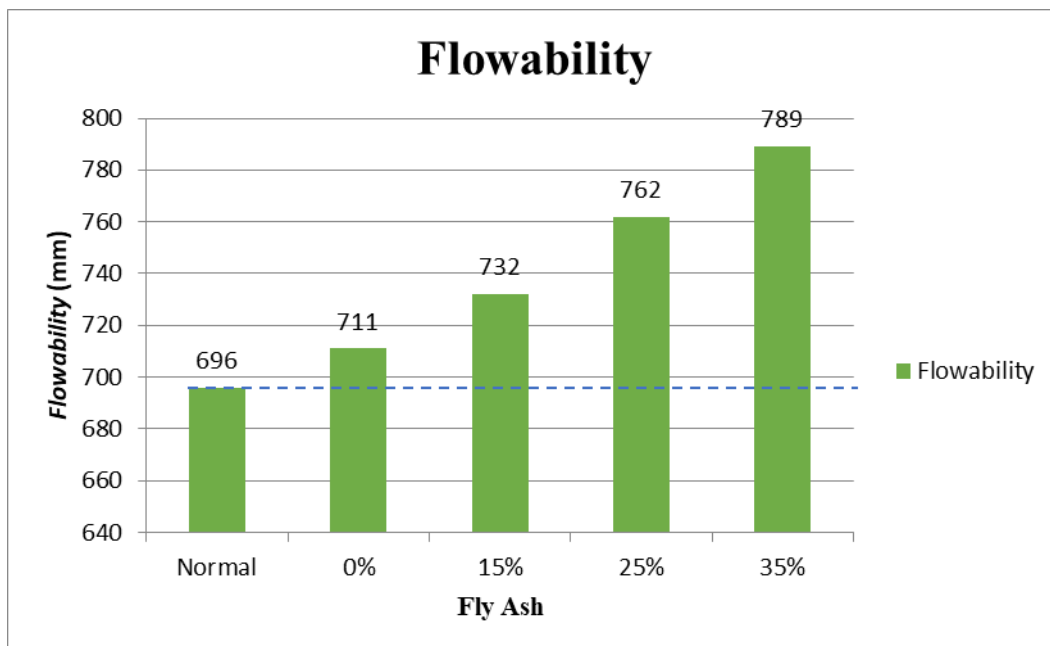
Gambar 3.1 Kuat tekan umur 1 hari

### 3.3 Hasil Pengujian *Flowability*

Pengujian *flowability* atau biasa disebut *slump flow* yang dilakukan pada saat beton segar telah selesai dibuat dengan cara menuangkan beton segar kedalam kerucut Abrams tanpa adanya rojokan atau pemadatan. Pada pengujian ini dilihat seberapa besar diameter sebaran maksimum yang didapat. Dengan jumlah percobaan dilakukan sebanyak 3 kali dari masing-masing variasi sampel beton segar.

Tabel 3.3 Hasil Pengujian *Flowability*

| Kode Sampel | Diameter 1 (mm) | Diameter 2 (mm) | Diameter Sebaran Maksimum (mm) | Rata-Rata (mm) |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|----------------|
| Normal (1)  | 710             | 695             | 703                            | 696            |
| Normal (2)  | 692             | 693             | 693                            |                |
| Normal (3)  | 690             | 695             | 693                            |                |
| 0% (1)      | 710             | 715             | 713                            | 711            |
| 0% (2)      | 710             | 712             | 711                            |                |
| 0% (3)      | 707             | 713             | 710                            |                |
| 15% (1)     | 730             | 734             | 732                            | 732            |
| 15% (2)     | 735             | 733             | 734                            |                |
| 15% (3)     | 732             | 728             | 730                            |                |
| 25% (1)     | 755             | 766             | 761                            | 762            |
| 25% (2)     | 758             | 758             | 758                            |                |
| 25% (3)     | 764             | 770             | 767                            |                |
| 35% (1)     | 780             | 795             | 788                            | 789            |
| 35% (2)     | 785             | 788             | 787                            |                |
| 35% (3)     | 793             | 790             | 792                            |                |



Gambar 3.2 Hasil Pengujian *Flowability*

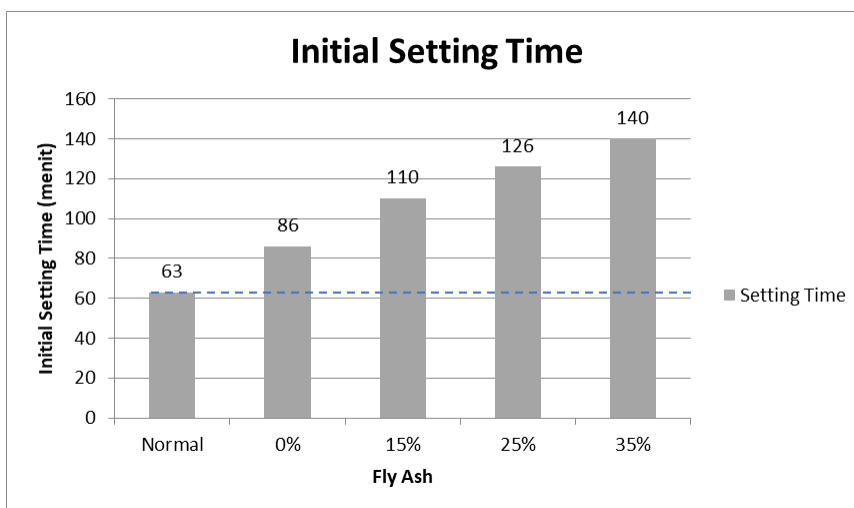
### 3.4 Hasil Pengujian *Setting-time*

Pengujian *initial setting time* atau biasa disebut waktu ikat awal pasta binder segar yang dilakukan dengan cara membaca jarum penetrasi alat Vicat. Untuk membaca waktu ikat awal dapat diketahui ketika jarum vicat mendapatkan penetrasi sedalam 25 mm ±1. Pada pengujian ini dilihat seberapa lama durasi pasta binder dapat mengeras. Dengan jumlah percobaan dilakukan sebanyak 3 kali dari masing-masing variasi sampel pasta binder.



Tabel 3.4 Hasil Pengujian *Initial Setting Time*

| Kode Sampel | <i>Initial Setting Time</i><br>(menit) | Rata-Rata<br>(menit) |
|-------------|--|----------------------|
| Normal (1)  | 68                                     | 63                   |
| Normal (2)  | 60                                     |                      |
| Normal (3)  | 60                                     |                      |
| 0% (1)      | 84                                     | 86                   |
| 0% (2)      | 90                                     |                      |
| 0% (3)      | 85                                     |                      |
| 15% (1)     | 105                                    | 110                  |
| 15% (2)     | 113                                    |                      |
| 15% (3)     | 111                                    |                      |
| 25% (1)     | 129                                    | 126                  |
| 25% (2)     | 120                                    |                      |
| 25% (3)     | 128                                    |                      |
| 35% (1)     | 135                                    | 140                  |
| 35% (2)     | 141                                    |                      |
| 35% (3)     | 143                                    |                      |



Gambar 3.3 Hasil pengujian initial setting time

### 3.4. Pembahasan Hasil Analisis Data

#### 3.4.1 Kuat Tekan Beton Umur 1 Hari

Dari pengamatan hasil penelitian, terdapat pengaruh penurunan kuat tekan beton pada usia 1 hari seiring dengan peningkatan variasi penambahan fly ash. Semakin tinggi persentase fly ash yang digunakan sebagai substitusi dalam campuran beton, maka kuat tekan yang dihasilkan akan semakin menurun. Penurunan ini terjadi karena fly ash berperan sebagai pengisi (filler) tanpa memiliki kemampuan pengikatan yang sama seperti semen. Oleh karena itu, semakin tinggi persentase fly ash yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen, ikatan antar partikel beton akan berkurang dan kemampuan beton untuk menahan beban menjadi lebih rendah.

Namun, peneliti juga menemukan bahwa penurunan kuat tekan tidak hanya terkait dengan peningkatan persentase substitusi fly ash, tetapi juga terpengaruh oleh penambahan citric acid sebesar 0,15%. Hal ini terlihat dari hasil kuat tekan pada sampel beton SCC tanpa penambahan citric acid dan fly ash, yang menghasilkan kuat tekan sebesar 373,89 kg/cm<sup>2</sup>, yang jauh lebih tinggi daripada beton dengan penambahan 0,15% citric acid dan variasi penambahan substitusi fly ash. Penurunan kuat tekan terjadi karena sifat citric acid sebagai retarder yang memperlambat proses pengerasan beton. Oleh karena itu, saat diuji pada usia 1 hari, pengerasan beton tidak mencapai tingkat optimal seperti beton normal pada umumnya.

### 3.4.2 Flowability Beton Segar

Dari hasil pengujian slump flow, dapat diamati bahwa dengan peningkatan variasi substitusi fly ash dalam campuran beton, diameter sebaran maksimum yang dihasilkan juga meningkat. Hal ini terjadi karena fly ash memiliki partikel yang lebih kecil secara fisik dibandingkan dengan partikel semen. Fly ash memiliki ukuran butiran yang halus, lolos ayakan no. 325 atau setara dengan 45 mikron, dan memiliki bentuk partikel yang sebagian besar berbentuk bola. Karakteristik ini menyebabkan peningkatan flowability atau daya alir pada beton segar seiring dengan peningkatan persentase penggunaan fly ash.

Namun, peneliti juga mengamati bahwa peningkatan daya alir atau flowability pada beton segar tidak hanya tergantung pada peningkatan persentase substitusi fly ash, tetapi juga dipengaruhi oleh penambahan citric acid sebesar 0,15%. Hal ini dapat dilihat dari hasil flowability pada beton segar SCC normal tanpa penambahan citric acid dan fly ash. Diameter sebaran maksimum pada sampel tersebut cenderung lebih kecil dibandingkan dengan beton segar yang ditambahkan citric acid 0,15%. Peneliti juga mengamati perbedaan reaksi pada beton yang ditambahkan citric acid dan yang tidak ditambahkan citric acid. Proses pencampuran beton yang ditambahkan citric acid cenderung menghasilkan campuran yang lebih cair dibandingkan dengan beton tanpa citric acid. Peneliti menyadari adanya reaksi kimia antara citric acid dan komponen lain dalam beton yang menyebabkan karakteristik beton segar menjadi lebih cair. Namun, karena keterbatasan penelitian, peneliti tidak menyelidiki sejauh mana reaksi antara citric acid dan komponen penyusun beton lainnya.

### 3.4.3 Initial Setting Time Pasta Binder SCC

Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat diamati bahwa seiring bertambahnya variasi substitusi penggunaan *fly ash* kedalam campuran pasta binder, maka durasi daya ikat awal atau *initial setting time* pada pasta binder akan semakin lambat. Hal ini dikarenakan sifat *fly ash* itu sendiri yang dapat mempengaruhi panas hidrasi dari semen, sehingga semakin bertambahnya kadar substitusi *fly ash* kedalam campuran beton maka *initial setting time* pasta binder dapat diperlambat.

Kemudian karena adanya pengaruh dari penambahan 0,15% *citric acid* kedalam campuran pasta binder yang berperan sebagai *retarder* untuk memperlambat proses pengikatan awal semen (*initial setting time*). Sebagaimana menurut Möschner dkk (2009), bahwa reaksi kimia dari *citric acid* ini dapat memperlambat pembubaran biji-bijian klinker pada proses hidrasi semen. Sehingga sudah jelas bahwa faktor ini juga sangat berpengaruh terhadap lama durasi *initial setting time* pasta binder yang dihasilkan.

## 4. KESIMPULAN

### 4.1 Kesimpulan

Hasil penelitian dan pembahasan mengenai penggunaan 0,15% citric acid sebagai retarder dan substitusi fly ash dalam beton menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen memiliki pengaruh negatif terhadap kuat tekan beton umur 1 hari. Semakin tinggi persentase fly ash yang dicampurkan, kuat tekan beton akan semakin menurun.
2. Penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen memiliki pengaruh terhadap daya alir (flowability) beton segar. Semakin tinggi persentase fly ash yang dicampurkan, diameter sebaran maksimum beton segar akan semakin besar.
3. Penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen memiliki pengaruh terhadap durasi initial setting time pada pasta binder. Semakin tinggi persentase fly ash yang dicampurkan, durasi initial setting time akan semakin lambat.
4. Rata-rata kuat tekan beton umur 1 hari tertinggi, yaitu 373,89 kg/cm<sup>2</sup>, terdapat pada sampel beton normal SCC tanpa penambahan citric acid dan fly ash. Rata-rata kuat tekan beton terendah, yaitu 132,18 kg/cm<sup>2</sup>, terdapat pada sampel beton dengan penambahan 0,15% citric acid dan substitusi fly ash sebesar 35%.
5. Meskipun peningkatan persentase fly ash mengakibatkan penurunan kuat tekan, namun pada persentase fly ash 0%, 15%, dan 25% telah memenuhi standar kuat tekan karakteristik K-850 yaitu minimal 136 kg/cm<sup>2</sup> untuk beton umur 1 hari.

6. Rata-rata diameter sebaran maksimum beton segar tertinggi, yaitu 789 mm, terdapat pada sampel beton dengan penambahan 0,15% citric acid dan substitusi fly ash sebesar 35%. Rata-rata diameter sebaran maksimum terendah, yaitu 696 mm, terdapat pada sampel beton normal SCC.
7. Semua nilai flowability beton segar memenuhi standar ACI No. 237R-07 yang menetapkan nilai minimal lebih dari 550 mm, sehingga dapat dikatakan bahwa beton tersebut memenuhi syarat sebagai beton SCC.
8. Rata-rata durasi initial setting time tercepat, yaitu 63 menit, terdapat pada sampel beton normal SCC tanpa penambahan citric acid dan fly ash. Rata-rata durasi initial setting time terlama, yaitu 140 menit, terdapat pada sampel beton dengan penambahan 0,15% citric acid dan substitusi fly ash sebesar 35%.

## 4.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan mengenai penambahan 0,15% citric acid sebagai retarder dan penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton umur 1 hari, flowability beton segar, dan durasi initial setting time pasta binder, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan, yaitu:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji pengaruh dan reaksi penambahan citric acid sebagai retarder pada beton. Penelitian ini dapat memperdalam pemahaman tentang penggunaan citric acid dalam memperlambat pengerasan beton.
2. Sebelum melakukan pencampuran pada beton SCC, disarankan untuk melakukan uji coba dan evaluasi secara trial and error. Hal ini penting karena metode perencanaan mix design beton SCC berbeda dengan metode mix design beton konvensional. Dengan melakukan uji coba, dapat diperoleh mix design yang lebih akurat dan optimal.
3. Diperlukan upaya dalam mengendalikan kualitas bahan tambahan (admixture) seperti superplasticizer yang digunakan. Setiap merek produk dapat memiliki reaksi dan dosis penggunaan yang berbeda. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengawasan dan kontrol kualitas agar dosis dan reaksi admixture sesuai dengan yang diharapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM 618-03 *Standart Specificatin for Coal Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzoland for Use as a Mineral Admixture in Concrete, American Society of Testing Material.*
- ASTM C618-17a. (2017) *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken*
- ASTM C 191-04 (2017) *Setting time is determined using either the Vicat apparatus*
- ASTM C192 / C192M (2018) *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*
- Joko, Purnomo. (2018). *Pengaruh Penambahan Citric acid (Sitrun) Pada Waktu Pengikatan Pasta binder Normal*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Mulyono, Tri. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Möschner, G.; Lothenbach, B.; Figi, R.; Kretschmar, R. (2009) Influence of *citric acid* on the hydration of Portland cement. *Cem. Concr. Res.*, 39 [4], 275–282.
- Okamura, H., and Ouzi, M., 2003, *Self-compacting concrete*, *Journal of advance concrete technology* Vol. 1 No.1 April 2003, *Japan Concrete Institute*.
- Paul Nugraha. Dkk (2007). *Teknologi Beton*. Buku Ajar. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Pratikto, dan Susilowati, A., 2011, *Beton mutu tinggi tanpa proses pemadatan Manual (High Strength of Self Compacted Concrete)*, Laporan Penelitian Unggulan, Politeknik Negeri Jakarta.
- Priyatno, Duwi. (2016). *SPSS Handbook*. Jakarta: MediaKom.

Ruhimat, Toto. dkk, (2011). Kurikulum dan Pembelajaran. Jakarta. PT Raja. Grafindo.

Tinnea, J.; Young, J.F. (1977) Influence of *citric acid* on reactions in the system  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{H}_2\text{O}$ . *J. Am. Ceram. Soc.*, 60 [9], 387–389.

Tjokrodinuljo, K. (2004). *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.