

Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton *Self Compacting Concrete* (SCC)

Windy Clara Anggitia¹, M. Nuklirullah², Fetty Febriasti Bahar³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jambi

Email: windyclaraa01@gmail.com; nuklirullah@unja.ac.id; fetty.febriasti@unja.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan beton di Indonesia semakin berkembang, dengan teknologi yang semakin maju maka penggunaan beton dituntut untuk semakin meningkatkan kekuatan beton. Pemadatan dengan menggunakan vibrator pada tulangan yang rapat tidak menjamin menghasilkan beton yang baik. *Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi masalah tersebut, yaitu mampu memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat ataupun vibrator. Penggunaan semen membawa dampak negatif terhadap pemanasan global. Oleh karena itu pada penelitian ini, untuk mengurangi penggunaan semen digunakan bahan tambah berupa *fly ash* sebagai bahan pengganti semen. Variasi penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen yaitu 5%, 10%, 15% dan 20%. Penggunaan bahan tambah zat aditif juga digunakan pada pembuatan *Self Compacting Concrete* (SCC), zat aditif yang digunakan dalam penelitian ini berupa *Superplasticizer* tipe E. Penggunaan *Superplasticizer* yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 1%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan *Self Compacting Concrete* (SCC). Adapun pengujian kuat tekan beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dilakukan pada umur 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa *workability* dan kuat tekan beton *Self Compacting Concrete* (SCC) menurun seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash*. Kuat tekan tertinggi yaitu pada campuran *fly ash* dengan variasi 5%, yaitu dengan kuat tekan sebesar 21,543 MPa, yang mana telah memenuhi kuat tekan rencana sebesar 20 MPa.

Kata Kunci: *Self Compacting Concrete* (SCC), *fly ash*, *workability*, kuat tekan.

ABSTRACT

The use of concrete in Indonesia is growing, with increasingly advanced technology, the use of concrete is required to further increase the strength of concrete. Compaction using a vibrator on tight reinforcement does not guarantee good concrete. *Self Compacting Concrete* (SCC) is an alternative to overcome this problem, which is able to compact itself without using a compactor or vibrator. The use of cement has a negative impact on global warming. Therefore, in this study, to reduce the use of cement, fly ash was used as a substitute for cement. Variations in the use of fly ash as a substitute for cement are 5%, 10%, 15% and 20%. The use of additives is also used in the manufacture of *Self Compacting Concrete* (SCC), the additive used in this study is a type E superplasticizer. The use of superplasticizer used in this study is equal to 1%. This study aims to determine the compressive strength of *Self Compacting Concrete* (SCC). The *Self Compacting Concrete* (SCC) concrete compressive strength test was carried out at the age of 28 days. Based on the test results it is known that the *workability* and compressive strength of *Self Compacting Concrete* (SCC) decreases with increasing fly ash content. The highest compressive strength is in the fly ash mixture with a variation of 5%, namely with a compressive strength of 21.543 MPa, which meets the planned compressive strength. Where the design compressive strength is 20 MPa.

Key words: *Self Compacting Concrete* (SCC), *fly ash*, *workability*, compression strength.

Submitted: 20 Februari 2023	Reviewed: 03 Maret 2023	Revised 07 Juni 2023	Published: 01 August 2023
---------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------

PENDAHULUAN

Pada saat ini beton mengalami banyak perkembangan, baik dalam pembuatan campuran beton maupun dalam pelaksanaan konstruksi. Dengan teknologi yang semakin maju maka penggunaan beton dituntut untuk semakin meningkatkan kekuatan beton. Perkembangan yang sangat dikenal ialah ditemukannya kombinasi antara material beton dan baja tulangan yang digabungkan menjadi satu kesatuan konstruksi dan dikenal sebagai beton bertulang. Pengerjaan pada beton bertulang cukup sulit dibandingkan dengan beton biasa, apalagi jika jarak tulangnya rapat yang mengakibatkan

sulit untuk dijangkau, selain itu pada beton bertulang juga sering terjadi permasalahan pada saat penuangan atau pengecoran pada bekisting. Pengecoran yang tidak baik tersebut akan menghasilkan kualitas beton yang jelek, seperti beton keropos, permeabilitas tinggi, atau beton mengalami pemisahan material (segregasi). Untuk itu diperlukan pemadatan dalam proses pengecoran dengan menggunakan alat pemadat berupa vibrator dengan tujuan menghilangkan rongga udara sehingga dicapai kepadatan maksimal, dan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu terciptanya inovasi beton jenis *Self Compacting Concrete* (SCC).

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan beton yang mampu memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat ataupun vibrator. Keunggulan yang didapatkan dengan menggunakan *Self Compacting Concrete* (SCC) yaitu dapat mengurangi lamanya konstruksi dan besarnya upah pekerja, mengurangi kebisingan yang mengganggu lingkungan sekitar, mendukung pelaksanaan *Green Building* karena mengurangi pemakaian energi listrik dengan tidak digunakannya vibrator untuk pemadatan, serta kuat tekan betonnya dapat dibuat untuk beton mutu tinggi atau sangat tinggi.

Self Compacting Concrete (SCC) di Indonesia masih belum berkembang dengan pesat, hal ini disebabkan dari segi biaya penggunaan *Self Compacting Concrete* (SCC) yang cukup mahal dibandingkan dengan beton konvensional (Rusyandi dkk, 2012). Pembuatan beton *Self Compacting Concrete* (SCC) menggunakan bahan tambah zat aditif berupa *Superplasticizer* yang berguna meningkatkan nilai *slump* untuk memudahkan *workability*. Pada penelitian ini peneliti mencoba menggunakan *Superplasticizer* dengan merk *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar *Superplasticizernya* sebesar 1% dengan jenis Tipe E (*Water Reducing* dan *Accelerating Admixture*) yang merupakan bahan tambah yang berfungsi mengurangi jumlah air pada saat pengecoran sehingga meningkatkan kekuatan beton dan mempercepat pengerasan pada beton. (Sugiharto et al., 2006)

Berbeda dengan beton normal pada umumnya, komposisi semen yang dibutuhkan pada *mix design Self Compacting Concrete* (SCC) lebih banyak jika dibandingkan dengan komposisi semen pada beton normal (Okamura dan Ouchi 2003). Disisi lain, penggunaan semen membawa dampak negatif yang cukup besar terhadap pemanasan global. Menurut *International Energy Authority*, produksi semen *portland* menyumbang 7% dari keseluruhan emisi karbon dioksida oleh manusia. Oleh karena itu, untuk mengurangi penggunaan semen dalam campuran beton *Self Compacting Concrete* (SCC) di gunakan bahan tambah (*admixture*) sebagai pengganti sebagian semen. Adapun bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa *fly ash*.

Fly ash (abu terbang) merupakan sisa pembakaran batu bara yang memiliki unsur *pozzolan* (SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3) sehingga dapat mengisi rongga-rongga dan menjadi bahan pengikat layaknya semen (Loekito & Wardhono, 2019) *Fly ash* yang dibiarkan saja dan tidak dimanfaatkan kembali akan mengakibatkan

pencemaran terhadap lingkungan, yang mana *fly ash* memiliki kandungan beberapa unsur yang bersifat racun seperti arsenik, vanadium, antimoni, boron dan kromium sehingga akan menghasilkan limbah.

Penelitian ini peneliti mencoba menggunakan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen pada pembuatan beton *Self Compacting Concrete* (SCC). *Fly ash* yang digunakan sudah dikategorikan sebagai limbah pabrik, untuk itu sudah sebaiknya kita untuk mengurangi limbah pabrik dan memanfaatkannya dengan baik agar tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.

Fly ash yang digunakan pada penelitian ini yaitu berasal dari PT. Pelita Wira Sejahtera yang merupakan perusahaan yang bergerak dalam sektor kontraktor umum dan pemasok transportasi darat peralatan berat dan penyewaan kendaraan ringan serta layanan pemeliharaan sumur. Perusahaan ini berlokasi di Jalan Pelindo II, RT. 11 Desa Talang Duku Kecamatan Taman Rajo Kabupaten Muaro Jambi.

penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap *workability* beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton *Self Compacting Concrete* (SCC).

Cahyaka dkk, (2018), pada penelitiannya menyatakan bahwa penambahan *fly ash* pada beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan kadar persentase yang bervariasi, yaitu 5%, 10%, 15% dan 20% sebagai pengganti sebagian semen, dan untuk penambahan zat aditif *Superplasticizer* yaitu sebanyak 1%. Berdasarkan uraian tersebut, maka dalam penelitian ini untuk membuat beton *Self Compacting Concrete* (SCC) digunakan bahan pengikat atau pengganti semen yaitu pemanfaatan *fly ash* dengan campuran zat aditif berupa *Superplasticizer*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium UPTD Balai Pengujian, Pasir Putih, Kota Jambi dengan metode eksperimen. Metode eksperimen merupakan metode percobaan yang digunakan dalam mempelajari pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain dalam kondisi yang diciptakan. Pengujian *Self Compacting Concrete* (SCC) ini menggunakan penambahan *fly ash* dengan variasi sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% sebagai bahan pengganti sebagian semen dan zat aditif yang berupa *Superplasticizer* sebanyak 1%. Benda uji yang akan dicetak berupa silinder

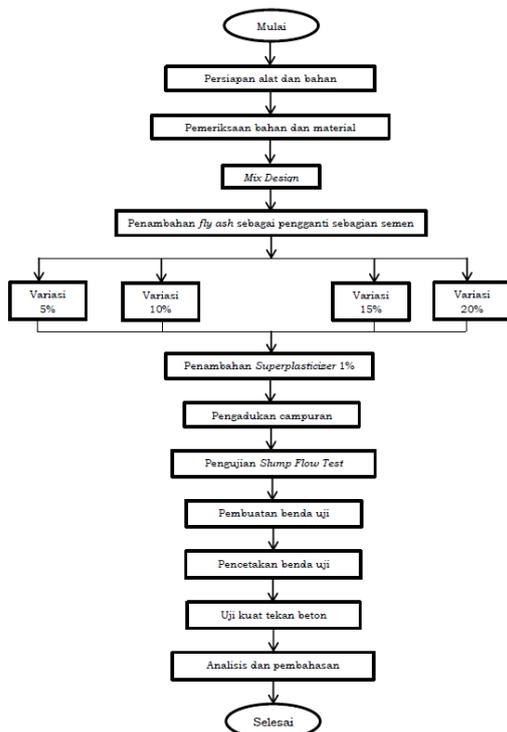
dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan masing-masing variasi *fly ash* akan dicetak sebanyak 3 buah sampel untuk masing-masing pengujian kuat tekan. Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) akan diuji saat umur beton mencapai 28 hari.

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan selama lebih kurang berkisar antara 1-3 bulan, yang dimulai pada bulan Juli 2022. Tempat dilakukannya penelitian ini yaitu di Laboratorium UPTD Balai Pengujian Provinsi Jambi, Jl. R.B. Siagin No. 1, Kel. Pasir Putih, Kec. Jambi Selatan, Kota Jambi, Jambi.

Bagan alir penelitian

Adapun tahapan penelitian digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil yang diperoleh dari pemeriksaan material yang digunakan pada penelitian ini yaitu diperoleh data sebagai berikut.

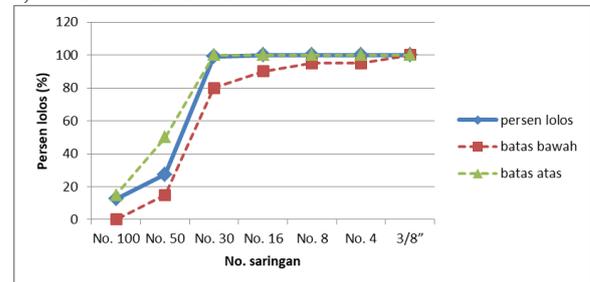
Hasil pengujian agregat halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus diperoleh hasil sebagai berikut.

Analisis saringan

Berdasarkan batas gradasi, agregat halus yang digunakan termasuk ke dalam Zona IV atau zona pasir halus yang sesuai dengan SNI 03-2834-

2000, dimana persen lolos saringan agregat halus berada diantara batas atas dan bawah yang ditetapkan. Kemudian untuk modulus kehalusan agregat diperoleh 2,51 dan telah termasuk ke dalam rentang batas modulus kehalusan untuk agregat halus, dimana rentangnya berkisar 1,5–3,8 berdasarkan SII 0052-80.



Gambar 2. Grafik gradasi agregat halus
 (Sumber: data penelitian, 2022)

Berat jenis dan penyerapan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai rata-rata dari berat jenis (*bulk*) agregat halus sebesar 2,46, berat jenis kering permukaan jenuh sebesar 2,57, berat jenis semu sebesar 2,76 dan penyerapan sebesar 4,42%. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 03-1970-1990 dimana berat jenis minimum agregat halus yaitu 2,5 dan untuk nilai penyerapan agregat halus juga telah memenuhi persyaratan yaitu tidak lebih dari 5%.

Berat isi

Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian berat isi yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil pengujian berat isi agregat halus

Pengujian	Berat Isi Lepas		Berat Isi Padat		Satuan
	I	II	I	II	
Berat benda uji + massa penakar	6,709	6,682	7,077	7,089	Kg
Massa penakar	2,811	2,811	2,811	2,811	Kg
Berat benda uji	3,898	3,871	4,266	4,278	Kg
Volume penakar	3,092	3,092	3,092	3,092	L
Berat isi	1,261	1,252	1,380	1,384	Kg/L
Rata-rata	1,256		1,382		Kg/L

(sumber: data penelitian, 2022)

Berdasarkan hasil perhitungan berat isi agregat halus, rata-rata nilai dari berat isi agregat halus metode lepas yaitu 1,256 Kg/L dan berat isi dengan metode padat sebesar 1,382 Kg/L. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh SII No.2-1980 yaitu minimal 1,2 gr/cm³ atau 1,2 Kg/L.

Kadar air

Berdasarkan pengujian kadar air yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian kadar air agregat halus

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Massa benda uji	W ₁	1500	1500	Gram
Massa benda uji kering oven	W ₂	1327,9	1373,5	Gram
Kadar air total	w	12,960	9,210	%
Kadar air rata-rata	w _r	11,085		%

(sumber: data penelitian, 2022)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kadar air sebesar 11,085%.

Kadar lumpur

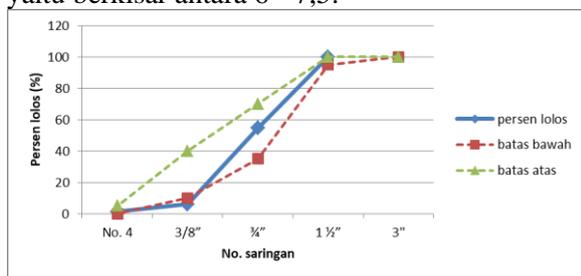
Berdasarkan hasil dari pengujian kadar lumpur agregat halus yang telah dilakukan, diperoleh nilai kadar lumpur sebesar 2,78%. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan peraturan Beton Indonesia (PBI 1971 NI.2) dan SNI S-04-1989-F yang mana kandungan lumpur agregat yang diizinkan sebagai bahan campuran beton yaitu maksimal 5%.

Hasil pengujian agregat kasar

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar diperoleh hasil sebagai berikut.

Analisis saringan

Berdasarkan batas gradasi, agregat kasar yang digunakan termasuk ke dalam Zona III sesuai dengan SNI 03-2834-2000, dimana persen lolos saringan agregat kasar berada diantara batas atas dan bawah yang ditetapkan. Kemudian untuk nilai modulus kehalusan butiran agregat kasar yang didapat yaitu 6,50, dimana nilai tersebut memenuhi dari persyaratan SK SNI S-04-1989-F yaitu berkisar antara 6 - 7,5.



Gambar 3. Grafik gradasi agregat kasar (Sumber: data penelitian, 2022)

Berat jenis dan penyerapan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan berat jenis kering yaitu 2,45, berat jenis kering permukaan jenuh yaitu 2,51, berat jenis semu yaitu 2,61 dan penyerapan sebesar 2,64%. Berdasarkan hasil tersebut, nilai penyerapan agregat telah memenuhi persyaratan yaitu tidak lebih dari 3%.

Berat isi

Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian berat isi yaitu sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil pengujian berat isi agregat kasar

Pengujian	Berat Isi Lepas		Berat Isi Padat		Satuan
	I	II	I	II	
Berat benda uji + massa penakar	19,958	20,083	21,011	20,715	Kg
Massa penakar	5,928	5,928	5,928	5,928	Kg
Berat benda uji	14,030	14,155	15,083	14,787	Kg
Volume penakar	10,450	10,450	10,450	10,450	Liter
Berat isi	1,343	1,355	1,443	1,415	Kg/L
Rata-rata	1,349		1,429		Kg/L

(sumber: data penelitian, 2022)

Berdasarkan hasil perhitungan berat isi agregat kasar, rata-rata nilai dari berat isi agregat kasar metode lepas yaitu 1,349 Kg/L dan untuk berat isi metode padat yaitu 1,429 Kg/L. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh SII No.2-1980 yaitu minimal 1,2 gr/cm³ atau 1,2 Kg/L.

Kadar air

Berdasarkan pengujian kadar air yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil pengujian kadar air agregat kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Massa benda uji	W ₁	3000	3000	Gram
Massa benda uji kering oven	W ₂	2926	2905	Gram
Kadar air total	$P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} (\%)$	2,53	3,27	%
Kadar air rata-rata	P _r	2,9		%

(sumber: data penelitian, 2022)

Abrasi

Adapun hasil pengujian abrasi yaitu sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil pengujian abrasi agregat kasar

Pengujian	Notasi	I	II
Berat benda uji sebelum diuji	A	5000	5000
Berat benda uji setelah diuji (tertahan saringan No. 12)	B	3601	3601
Hasil pengujian	$\frac{A - B}{A} \times 100\%$	27,98	27,98
Rata-rata	%	27,98	

(sumber: data penelitian, 2022)

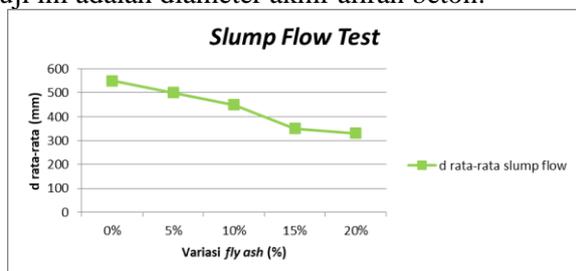
Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diperoleh nilai abrasi agregat kasar sebesar 27,98%. Nilai abrasi butiran agregat kasar tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 2417-2008, dimana nilai abrasi agregat kasar maksimum yaitu 40%.

Perencanaan campuran beton

Perencanaan campuran beton pada pengujian ini dilakukan sesuai dengan prosedur SNI 7656:2012, yang mana perkiraan proporsi campuran beton yaitu berdasarkan sifat material penyusun beton. Menurut Tamimah dkk (2022), dalam proses penyusunan rencana beton pada umumnya dibutuhkan hasil data uji berupa berat jenis agregat kasar dan halus, berat kering agregat, kadar air agregat, penyerapan agregat, modulus kehalusan agregat, gradasi agregat, serta berat jenis semen yang digunakan.

Pengujian beton segar

Pada penelitian ini, pengujian beton segar dilakukan dengan cara uji slump flow test. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *filling ability* dan *flowability* (kemampuan alir) beton *Self Compacting Concrete* (SCC). Adapun hasil yang ditinjau dari uji ini adalah diameter akhir aliran beton.



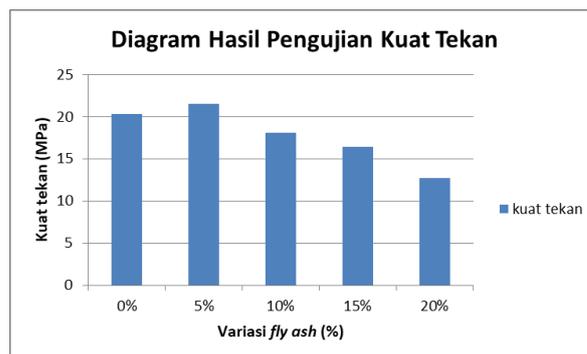
Gambar 4. Grafik pengujian *slump flow* (sumber: data penelitian, 2022)

Berdasarkan hasil *slump flow* yang telah dilakukan, untuk *fly ash* dengan variasi 5% telah memenuhi syarat yang telah ditentukan, dimana menurut (Adityo dkk, 2014), karakteristik *Self Compacting Concrete* (SCC) yaitu memiliki nilai slump flow yang berkisar antara 500 mm – 700 mm. Sedangkan untuk *fly ash* dengan variasi 10%, 15% dan 20% dikategorikan beton normal pada umumnya dikarenakan tidak memenuhi syarat *slump flow* yang telah ditentukan.

Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat *Compression Test* dengan benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm². (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Menurut Nuklirullah dkk, (2022), kuat tekan beton mengidentifikasi mutu beton. Setiap peningkatan kuat tekan hanya diiringi dengan kenaikan kuat tarik yang relatif kecil. Pengujian kuat tekan beton dilakukan ketika beton berumur 28 hari dimana kekuatan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton dimana kekuatan beton akan naik secara

cepat sampai umur 28 hari. (Pujiyanto dkk, 2019; Sugiharto dkk., 2006)



Gambar 5. Grafik pengujian kuat tekan (sumber: data penelitian, 2022)

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada 15 buah sampel, dengan jumlah 3 di setiap variasi *fly ash* 5%, 10%, 15%, dan 20%. Adapun hasil kuat tekan beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dapat dilihat pada gambar berikut.

Dilihat dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai kuat tekan beton *Self Compacting Concrete* (SCC) yang dihasilkan mencapai kuat tekan rencana, dimana kuat tekan beton pada variasi 0% atau tanpa tambahan *fly ash* yaitu 20,324 MPa, nilai tersebut telah memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu 20 MPa. Untuk *fly ash* dengan variasi 5% mengalami kenaikan sebesar 5,99%, dimana nilai kuat tekannya yaitu sebesar 21,543 MPa. Sedangkan untuk kuat tekan beton pada variasi *fly ash* 10%, 15% dan 20% mengalami penurunan, yang mana kuat tekannya sebesar 18,125 MPa, 16,414 MPa dan 12,755 MPa.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, kuat tekan beton mengalami kenaikan dengan bertambahnya kadar campuran *fly ash*, akan tetapi apabila semakin banyak penggunaan *fly ash* maka akan semakin menurun kuat tekannya dikarenakan penggunaan semen akan lebih sedikit dan *fly ash* belum bisa sepenuhnya seperti semen yang fungsinya mengikat (Erviyanto dkk, 2016). Untuk itu, berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan, penggunaan *fly ash* dengan variasi 5% merupakan nilai optimum yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen pada beton *Self Compacting Concrete* (SCC).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil penelitian tentang pengaruh penambahan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan *Self Compacting Concrete* (SCC), maka dapat diambil

beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu antara lain adalah bahwa Pengaruh penambahan *fly ash* pada campuran beton *Self Compacting Concrete (SCC)* menyebabkan menurunnya workability beton. Hal itu dapat dilihat saat pengujian *slump flow test* yang telah dilakukan. Semakin banyak *fly ash* maka semakin sulit untuk beton mencapai *flowability* dan *workability*, dimana untuk *fly ash* dengan variasi 5% memperoleh nilai *slump flow* sebesar 500 mm, dimana telah memenuhi syarat *slump flow* yang telah ditentukan yaitu berkisar antara 500 mm-700 mm. Sedangkan untuk variasi 10%, 15% dan 20% diperoleh nilai *slump flow* sebesar 400 mm, 350 mm, dan 330 mm, dimana untuk variasi tersebut termasuk ke dalam beton normal pada umumnya dikarenakan tidak memenuhi syarat *slump flow* yang telah ditentukan. Dan berdasarkan hasil uji kuat tekan beton *Self Compacting Concrete (SCC)*, penggunaan *fly ash* berpengaruh terhadap hasil kuat tekan, dimana semakin banyak penggunaan *fly ash* maka kuat tekan beton semakin menurun. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil pengujian yang telah dilakukan dimana untuk penggunaan *fly ash* yang optimum terletak pada variasi 5% yang kuat tekannya sebesar 21,543 MPa. Sedangkan untuk kuat tekan beton pada variasi *fly ash* 10%, 15% dan 20% mengalami penurunan, yang mana kuat tekannya sebesar 18,125 MPa, 16,414 MPa dan 12,755 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional Indonesia. (2008). Sni 2417-2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*, 1–9.
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SNI S-04-1989-F Spesifikasi Bahan. Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal* (pp. 1–34).
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*.
- Cahyaka, H. W., Wibowo, A., Handayani, K. D., Wiyono, A., & Santoso, E. H. (2018). TIM EJOURNAL Ketua Penyunting : Penyunting : Mitra bestari : Penyunting Pelaksana : Redaksi : Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya Website : tekniksipilunesa.org Email : REKATS. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 186–194.
- Ervianto, M., Saleh, F., & Prayuda, H. (2016). Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abut Terbang (Fly Ash) Dan Zat Adiktif (Bestmittel). *Sinergi*, 20(3), 199. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.3.005>
- Loekito, I. P., & Wardhono, A. (2019). Pengaruh Variasi NaOH dan Na₂SiO₃ terhadap Kuat Tekan Dry Geopolimer Mortar pada Kondisi Rasio Fly Ash terhadap Aktifator 2,5:1. *Rekats: Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 1–7.
- Nuklirullah, M., Pathoni, H., & Wanda, A. (2022). Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Serat Bambu dari Tusuk Gigi Sebagai Bahan Tambah. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 56. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v0i0.11500>
- Pujianto, A., Prayuda, H., Zega, B. C., & Afriandini, B. (2019). Kuat Tekan Beton dan Nilai Penyerapan dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut dan Air Sungai. *Semesta Teknika*, 22(2), 112–122. <https://doi.org/10.18196/st.222243>
- Rusyandi, K., Mukodas, J., & Gunawan, Y. (2012). Perancangan Beton *Self Compacting Concrete* (Beton Memadat Sendiri) Dengan Penambahan Fly Ash dan Structuro. *Jurnal Konstruksi*, 10(01), 1–11. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.10-01.35>
- Sugiharto, H., Gunawan, T., & Muntu, Y. (2006). Penelitian Mengenai Peningkatan Kekuatan Awal Beton pada *Self Compacting Concrete*. *Civil Engineering Dimension*, 8(2), 87–92.
- Tamimah, K. N., Bahar, F. F., & Nuklirullah, M. (2022). Pemanfaatan Tumbukan Cangkang Kerang sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar pada Campuran Beton. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 108. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v11i2.16623>