



Pemanfaatan Fly Ash sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen pada Beton Memadat Sendiri

The Utilization of Fly Ash as Partial Substitution of Cement to the Self Compaction Concrete

NGUDIYONO*, NI NYOMAN KENCANAWATI, RIZKY PRAKARSA

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit No 62 Mataram, 83125.
*ngudiyono@unram.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2 December 2021

Accepted 18 January 2022

Published 31 January 2022

Keywords:

Self compaction concrete,
Fly ash,
Water binder ratio,
Compressive strength

ABSTRACT

Self Compaction Concrete (SCC) is concrete that can flow and fill the spaces in the mold without a compaction process in a fresh state. Therefore, it can overcome various problems during the casting of building components, such as reducing construction time and the number of labor for compaction and vibration. It also can reduce noise, increase the density of concrete structural elements in parts that are difficult to reach with a compactor, and increase the quality and strength of concrete structures. The cement production process increases carbon dioxide (CO₂) gas emissions. It is necessary to find alternative materials to reduce these negative impacts, namely by utilizing coal-burning waste in the form of fly ash. This research aimed to determine the effect of fly ash and water binder ratio (w/b) on the compressive strength of SCC concrete. The variations of fly ash and w/b in this research were 0%, 20, 15, and 20%, with w/b 0.3, 0.35, and 0.4. Cylindrical specimens 150 mm x 300 mm were tested at the age of 28 days to determine the compressive strength of each variation of the mixture. The results showed that the percentage of fly ash and water binder ratio (w/b) could affect the filling and passing ability of SCC fresh and the compressive strength of SCC concrete. That can be shown the compressive strength of SCC at the proportion of fly ash 15% increase of 33.5% and 21.8% compared to SCC without fly ash (0%). However, at 20% fly ash proportion, the compressive strength tends to decrease but is still higher than SCC without fly ash (0%).

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 2 December 2021

Disetujui 18 January 2022

Diterbitkan 31 January 2022

Kata kunci:

Beton memadat sendiri,
Fly ash,
Water binder ratio,
Kuat tekan

ABSTRAK

Beton memadat sendiri adalah beton yang dalam keadaan segar mampu mengalir dan mengisi ruangan di dalam cetakan (*bekisting*) tanpa proses pemadatan. Sehingga dapat mengatasi berbagai permasalahan selama pengecoran elemen bangunan yaitu mengurangi waktu pelaksanaan konstruksi dan besarnya upah tenaga kerja untuk proses pemadatan dan penggetaran, mengurangi kebisingan, meningkatkan kepadatan bagian elemen struktur beton yang tidak dapat dijangkau oleh alat pemadat dan selanjutnya kualitas serta kekuatan struktur beton secara menyeluruh dapat ditingkatkan. Proses produksi semen mengakibatkan peningkatan emisi gas karbondioksida (CO₂) sehingga perlu dicarikan bahan alternatif pengganti untuk mengurangi dampak negatif tersebut yaitu dengan memanfaatkan limbah pembakaran batu bara berupa abu terbang (*fly ash*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *fly ash* dan *water binder ratio* (w/b) terhadap kuat tekan beton *Self Compaction Concrete* (SCC). Variasi prosentase *fly ash* dan w/b pada penelitian ini adalah 0, 20, 15, dan 20% dengan w/b 0,3, 0,35, dan 0,4. Benda uji silinder 150 mm x 300 mm diuji pada umur 28 hari untuk mengetahui kuat tekan masing-masing variasi campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahwa persentase *fly ash* dan *water binder ratio* (w/b) dapat mempengaruhi kemampuan mengalir (*filling ability*) dan melewati sela-sela tulangan baja (*passing ability*) beton segar SCC serta kuat tekan beton SCC. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kuat tekan SCC pada proporsi *fly ash* 15 % mengalami peningkatan sebesar 33,5 dan 21,8 % dibandingkan dengan SCC tanpa *fly ash* (0%). Akan tetapi pada proporsi *fly ash* 20 % kuat tekan cenderung mengalami penurunan, namun masih lebih tinggi daripada SCC tanpa *fly ash* (0%).

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton konvensional pada tahap pengecoran khususnya pada daerah-daerah dengan jarak tulangan rapat seperti balok-kolom dan dengan metode pengecoran yang bervariasi tidak bisa menjamin tercapainya kepadatan yang optimal, sehingga kuat tekan yang direncanakan tidak dapat tercapai dengan baik. Hal ini disebabkan karena alat pemadat (*vibrator*) yang digunakan tidak dapat mencapai daerah-daerah dengan jarak tulangan yang rapat. Salah satu penyelesaian agar dapat memperoleh struktur beton yang memiliki kepadatan yang lebih baik adalah dengan menggunakan beton memadat sendiri atau *Self Compaction Concrete* (SCC). Teknologi beton ini diperkenalkan di Jepang sekitar tahun 1980-an. Jika beton jenis ini berupa beton segar, akan mengalir sendiri melalui sela-sela tulangan-tulangan baja dan mengisi ruangan yang ada di dalam cetakan (*bekisting*) tanpa melalui pemadatan atau penggetaran (Campion & Josh, 2000; Okamura & Ouchi, 2003). Selain itu keuntungan penggunaan beton jenis SCC adalah dapat mempercepat waktu pelaksanaan pengecoran konstruksi, besaran upah tenaga kerja, dan mengurangi pekerjaan pemadatan. Dampak kebisingan akibat penggunaan alat pemadat (*vibrator*) yang dapat mengganggu lingkungan di sekitarnya juga dapat dikurangi dan secara keseluruhan kepadatan elemen struktur beton terutama pada bagian yang sulit dijangkau dengan alat pemadat (*vibrator*) serta kualitas dan kekuatan struktur beton dapat ditingkatkan.

Kekuatan beton tergantung dari proporsi material pengikatnya (semen atau material yang bersifat *pozzolan*). Proses produksi semen mengakibatkan peningkatan emisi gas karbondioksida (CO₂). Berdasarkan data UNEP, pabrik semen dunia memberikan kontribusi emisi gas rumah kaca sebesar 11,73% dari total 35,8 Gigaton pada tahun 2016 (UNEP, 2017). Salah satu usaha untuk mengurangi dampak negatif yang dapat dilakukan adalah melalui pemanfaatan limbah pembakaran batu bara berupa abu terbang (*fly ash*). Partikel *fly ash* dengan ukuran < 2 mikrometer dikelompokkan sebagai partikel halus dan jika keluar dari cerobong dengan ketinggian > 250 m di udara selama beberapa jam hingga jangka waktu lama dan dengan jangkauan > 50 km², akan menjadi sumber masalah bagi lingkungan sekitarnya (Wiyono & Wahyudi, 2018). *Fly ash* yang berukuran antara 1-150 mikrometer yang lolos ayakan 45 mikrometer mempunyai sifat *pozzolan*, karena banyak mengandung senyawa silikat (SiO₂) dan cukup menjanjikan untuk digunakan sebagai campuran atau bahkan pengganti sebagian semen.

Penelitian tentang SCC dengan bahan *fly ash* telah dilakukan oleh Khatib (2008) dengan menggunakan prosentase 0–80% terhadap berat semen dan *water binder ratio* 0,36. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah bahwa penggantian semen dengan *fly ash* dengan volume tinggi mampu menghasilkan beton mutu tinggi dan menurunkan penyusutan. Selanjutnya Siddique et al. (Siddique et al. 2012) menggunakan *fly ash* sebagai material pengganti semen dan *bottom ash* sebagai material pengganti agregat halus, dengan proporsi 15–35% *fly ash* menghasilkan kuat tekan 30–35 MPa, sedangkan sebagai bahan pengganti agregat halus dengan *bottom ash* menurunkan kuat tekan beton. Namun demikian penelitian-penelitian tersebut belum memvariasikan *water*

binder ratio, oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan *fly ash* sebagai material substitusi parsial semen pada beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*) dengan variasi perbandingan kadar air terhadap semen + *fly ash* atau *water binder ratio* (w/b).

Menurut SNI 2460, abu terbang (*fly ash*) adalah residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batu bara dan ditransportasikan oleh aliran udara panas (SNI 2460, 2014). Beberapa unsur-unsur yang terkandung dalam *fly ash* adalah oksida Si, Al, Fe, dan Ca sebesar 95-99% dan Na, P, K, dan S sebesar 0,5-3,5% (Ghorai et al., 2015). Selain itu, *fly ash* juga diindikasikan mengandung logam-logam berat bersifat toksik seperti Pb, Cr, Cu, Ni, dan Cd (Danielowska, 2006). Namun dalam bagian penjelasan Pasal 459 Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *fly ash* dari hasil pembakaran batu bara dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan temperatur tinggi sekitar 1400 °C tidak termasuk sebagai limbah B3 (Anonim, 2021). Pada tahun 2021, pemerintah memperkirakan terdapat 17 juta ton *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) dan pada tahun 2050 diperkirakan mencapai 49 juta ton, yang dihasilkan dari PLTU di seluruh Indonesia (Anonim, 2021). Oleh karena itu dengan berlakunya peraturan pemerintah ini, perlu diimbangi pemanfaatan *fly ash* semaksimal mungkin, khususnya sebagai substitusi semen, sehingga produksi semen juga dapat dikurangi.

Fly ash diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe, yaitu: Tipe N yaitu *pozzolan* alam atau hasil pembakaran *pozzolan* alam (tanah diatomic, *opaline cherts* dan *shales, tuff* dan abu vulkanik, atau *pumicite*); Tipe C yaitu *fly ash* yang mengandung CaO (Calcium Oxide) > 10% pembakaran lignit atau sub-bitumen batu bara dan Tipe F yaitu *fly ash* yang mengandung CaO < 10% pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara (SNI 2460, 2014; ASTM C618, 2003). Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen harus memenuhi persyaratan kimia, seperti yang disajikan pada Tabel 1 (SNI, 2014). Sedangkan hasil pengujian senyawa kimia *fly ash* dari PLTU Paiton disajikan pada Tabel 1 kolom paling kanan (Naibaho et al., 2016). Dari Tabel 1 terlihat bahwa *fly ash* PLTU Paiton memenuhi syarat sebagai material *pozzolan* dengan kandungan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ sebesar 85,56% termasuk kelas N dan F.

Tabel 1. Persyaratan senyawa kimia *fly ash*

Uraian	Kelas (SNI 2460, 2014)			<i>Fly ash</i> Paiton (Naibaho et al., 2016)
	Tipe N	Tipe F	Tipe C	
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , minimum (%)	70,00	70,00	50,00	85,56
SO ₃ , maksimum (%)	4,00	5,00	5,00	n/a
Kadar air, maksimum (%)	3,00	3,00	3,00	0,20
Hilang pijar, maksimum (%)	10,00	6,00	6,00	0,43

1.2 Tujuan Penelitian

Faktor penting dalam pemanfaatan *fly ash* terhadap kekuatan SCC adalah persentase *fly ash* dan *water binder* (w/b), sehingga tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sejauh mana pengaruh persentase *fly ash* dengan variasi w/b terhadap kuat tekan beton SCC. Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh persentase dan w/b optimum, sehingga dapat dijadikan acuan dalam pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan bangunan pengganti sebagaimana semen khususnya pada beton SCC.

2. METODE

2.1 Bahan

Bahan *fly ash* diperoleh dari PLTU Paiton yang telah lolos ayakan 45 mikrometer standar ASTM C618, Portland Composite Cement (PCC) Merk Tiga Roda, Superplasticizer merk Sika Viscocrete 3115N, Additon HE, agregat halus yaitu

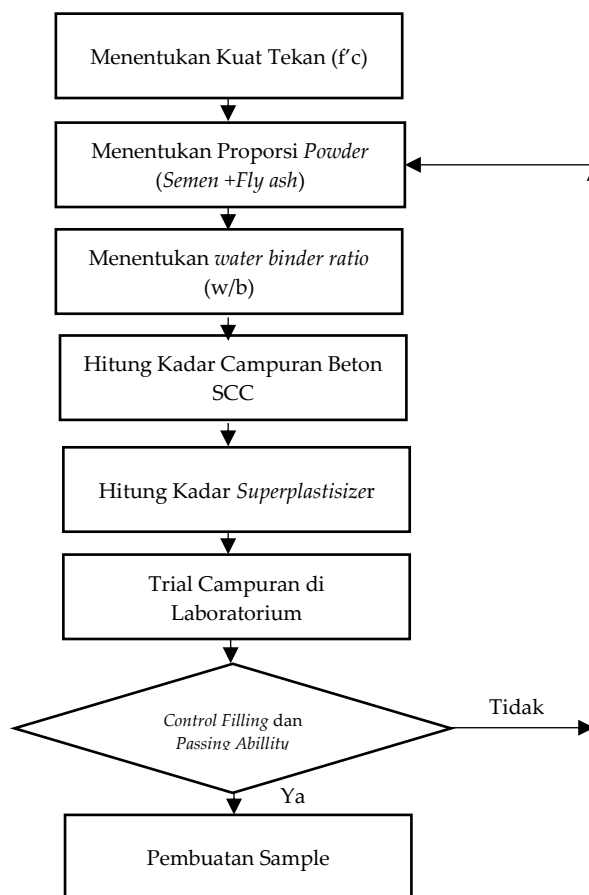
pasir, dan agregat kasar yaitu kerikil alami dengan ukuran maksimal 20 mm.

2.2 Metode

Penelitian dilakukan secara ekperimental di Laboratorium Struktur dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram dengan tahap-tahap seperti yang dijelaskan berikut ini:

2.2.1 Perencanaan campuran beton SCC

Perencanaan campuran beton SCC mengacu pada EFNARC, secara umum disajikan pada Gambar 1, dengan batasan proporsi seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2, kemudian dilakukan *trial* campuran di laboratorium hingga *filling* dan *passing ability* beton segar SCC sesuai dengan syarat standar EFNARC seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil perencanaan campuran beton SCC dengan berbagai variasi persentase *fly ash* yaitu 0, 20, 15, dan 20% dan w/b 0,3, 0,35, dan 0,4 ditampilkan pada Tabel 4, 5, dan 6.



Gambar 1. Proses perencanaan campuran beton SCC

Tabel 2. Standar perencanaan campuran beton SCC mengacu EFNARC

Parameter	Unit	Nilai
<i>Powder</i> (Semen+filler) / m ³	kg	380 - 600
Persentase agregat	%	28 - 35
Air / m ³	liter	150 - 210
Rasio Air terhadap <i>powder</i>	-	0,8 - 1,1
Agregat kasar / m ³	kg	750 - 1.000
Persentase agregat halus terhadap agregat total	%	48 - 55
Kadar <i>Superplastisizer</i> dari <i>powder</i> (Semen+filler)	%	1 - 1,5
Ukuran agregat kasar	mm	< 20

Tabel 3. Kriteria beton segar SCC berdasarkan EFNARC (EFNARC, 2005)

Metode Pengujian	Unit	Nilai	
		Minimum	Maksimum
Slump flow	mm	650	800
T _{50cm}	s	2	5
L-box (h ₂ /h ₁)	-	0,8	1

Tabel 4. Kebutuhan Bahan Penyusun Beton Dengan (w/b) 0,3

Kode Benda Uji	Air (kg)	Agregat Kasar/Kerikil (kg)	Agregat Halus/Pasir (kg)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Viscocrete (kg)
SCC 0	165,00	898,34	921,11	550,00	-	8,25
SCC 10	169,95	881,37	903,70	495,00	55,00	
SCC 15	168,28	878,19	900,45	467,50	82,50	
SCC 20	165,00	877,52	899,75	440,00	110,00	

Tabel 5. Kebutuhan Bahan Penyusun Beton Dengan (w/b) 0,35

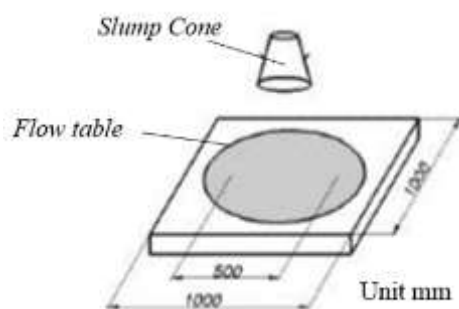
Kode Benda Uji	Air (kg)	Agregat Kasar/Kerikil (kg)	Agregat Halus/Pasir (kg)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Viscocrete (kg)
SCC 0	192,50	860,36	882,16	550,00	-	8,25
SCC 10	198,04	842,29	863,64	495,00	55,00	
SCC 15	196,33	839,45	860,73	467,50	82,50	
SCC 20	192,50	839,53	860,81	440,00	110,00	

Tabel 6. Kebutuhan Bahan Penyusun Beton Dengan (w/b) 0,4

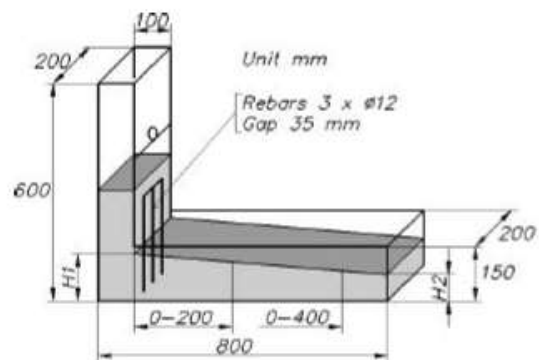
Kode Benda Uji	Air (kg)	Agregat Kasar/Kerikil (kg)	Agregat Halus/Pasir (kg)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Viscocrete (kg)
SCC 0	220,00	822,38	843,22	550,00	-	8,25
SCC 10	226,33	803,22	823,57	495,00	55,00	
SCC 15	224,37	800,71	821,01	467,50	82,50	
SCC 20	220,00	801,55	821,86	440,00	110,00	

2.2.2 Uji Beton Segar

Agar dapat mengetahui kemampuan mengalir (*filling ability*) beton segar SCC, pada penelitian ini dilakukan metode pengujian *Slump flow* dengan menggunakan alat kerucut Abrams atau *Slump Cone* (Gambar 2), dimana kemampuan mengalir dapat ditunjukkan oleh waktu yang dibutuhkan beton segar mencapai diameter 500 mm (T_{50cm}) dan diameter aliran maksimum sesuai standar EFNARC. Sedangkan agar dapat diketahui kemampuan beton segar SCC melewati sela-sela tulangan-tulangan baja (*passing ability*) digunakan uji L-Box (Gambar 3). Nilai *passing ability* ditunjukkan dengan perbandingan ketinggian di hilir (h₂) dengan hulu (h₁) atau h₂/h₁.



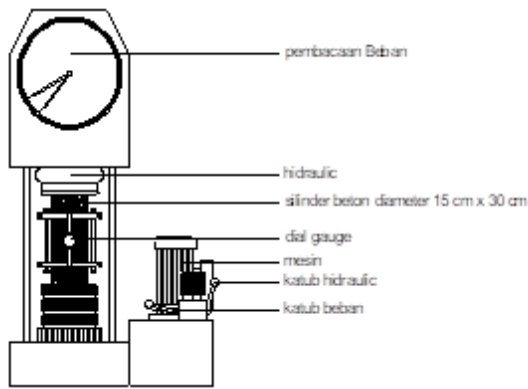
Gambar 2. Slump flow Test (EFNARC, 2005)



Gambar 3. L-box Test (EFNARC, 2005)

2.2.3 Uji Kuat Tekan SCC

Uji kuat tekan SCC dilakukan setelah beton minimum berumur 28 hari, dengan mengacu pada standar ASTM C39. Benda uji silinder ukuran 150 mm x 300 mm yang telah *dicapping* diletakkan pada alat uji tekan (*Compression Testing Machine*), selanjutnya pembebanan diterapkan secara bertahap sampai mencapai beban maksimum, dengan kecepatan pembebanan 0,13 – 0,34 MPa/detik, *Setting up* disajikan pada Gambar 4. Kuat tekan (f'c) dihitung dengan persamaan (1).



Gambar 4. Setting up uji kuat tekan

$$f'c = P_{maks}/A \dots\dots\dots(1)$$

dengan,

$f'c$: kuat tekan (MPa atau N/mm²)

P_{maks} : beban maksimum (N)

A : luas bidang tekan = $1/4 \times \pi \times 150^2 = 17662.5 \text{ mm}^2$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Filling dan Passing Ability Beton Segar SCC

Hasil pengujian *filling ability* dengan *slump flow* dan *passing ability* menggunakan alat L-box disajikan pada Tabel 7. Dari tabel tersebut terlihat bahwa sifat *filling ability* dan *passing ability* beton segar SCC memenuhi standar EFNARC, sehingga hasil perencanaan campuran dapat digunakan sebagai campuran beton SCC.

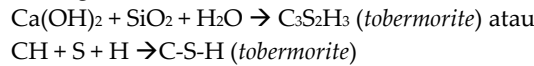
3.2 Hasil Uji Kuat Tekan Beton SCC

Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton SCC (Gambar 5), terlihat bahwa nilai kuat tekan beton dengan penggantian sebagian semen dengan *fly ash* pada w/b 0,3 dan 0,35 mengalami peningkatan dibandingkan dengan beton SCC tanpa *fly ash* (0%), kecuali untuk w/b 0,4. Untuk beton SCC dengan w/b 0,3 dan 0,35 kuat tekan maksimum tercapai pada proporsi *fly ash* 15 % sebesar 27,9 MPa dan 30,7 MPa atau dengan peningkatan yang terjadi sebesar 33,5 % dan 21,8 %.

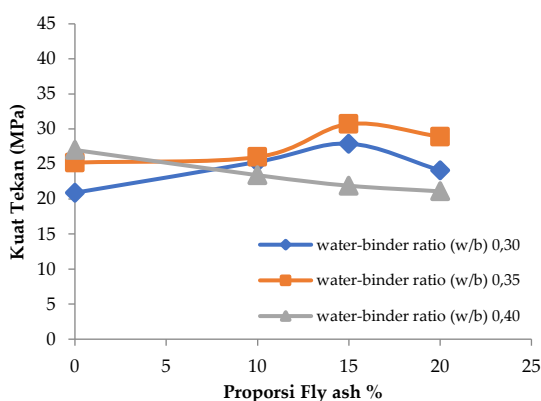
Tabel 7. Hasil pengujian *filling ability* dan *passing ability* beton segar SCC

No Sample	(w/b)	Kadar Fly ash	Metode Pengujian	Unit	Nilai
1	0,3	0%	Slump flow	mm	650
			T _{50cm}	s	3,75
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,67
2	0,3	10%	Slump flow	mm	660
			T _{50cm}	s	2,38
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,93
3	0,3	15%	Slump flow	mm	700
			T _{50cm}	s	2,2
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
4	0,3	20%	Slump flow	mm	700
			T _{50cm}	s	2,3
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
5	0,35	0%	Slump flow	mm	710
			T _{50cm}	s	2,57
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
6	0,35	10%	Slump flow	mm	730
			T _{50cm}	s	2,23
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
7	0,35	15%	Slump flow	mm	680
			T _{50cm}	s	3
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
8	0,35	20%	Slump flow	mm	700
			T _{50cm}	s	2,31
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
9	0,4	0%	Slump flow	mm	660
			T _{50cm}	s	2,48
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
10	0,4	10%	Slump flow	mm	700
			T _{50cm}	s	3
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,875
11	0,4	15%	Slump flow	mm	680
			T _{50cm}	s	2,8
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,812
12	0,4	20%	Slump flow	mm	660
			T _{50cm}	s	2,31
			L - Box (h ₂ /h ₁)	-	0,812

Peningkatan ini disebabkan karena senyawa SiO₂ dalam fly ash yang bersifat pozzolan akan bereaksi dengan dengan senyawa kapur bebas Ca(OH)₂ yang merupakan sisa hasil proses hidrasi menghasilkan senyawa baru C₃S₂H₃ (tobermorite) yang akan meningkatkan kekuatan beton. Secara sederhana rumus kimianya dapat ditulis sebagai berikut (Young et al., 1998).



Selanjutnya pada proporsi fly ash 20% kuat tekan cenderung mengalami penurunan, namun masih lebih tinggi daripada beton SCC 0% fly ash, hal ini kemungkinan disebabkan karena menurunnya nilai slump flow betan segar (Tabel 7) sehingga mengurangi tingkat kepadatan beton SCC (Dinakar, 2012).



Gambar 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton SCC

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa persentase fly ash dan water binder ratio (w/b) dapat mempengaruhi kemampuan mengalir (filling ability) dan melewati sela-sela tulangan baja (passing ability) beton segar SCC serta kuat tekan beton SCC. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kuat tekan beton SCC pada proporsi fly ash 15% sebesar 27,9 MPa dan 30,7 MPa dengan peningkatan yang terjadi sebesar 33,5% dan 21,8% dibandingkan dengan SCC tanpa fly ash (0%). Pada proporsi fly ash 20% kuat tekan cenderung mengalami penurunan, namun masih lebih tinggi daripada beton SCC 0% fly ash.

PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Laboratorium Struktur JTS, FT, Unram yang telah memberikan dukungan sarana dan prasarana dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C39-99. (1999). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohochen.

ASTM C 618. (2003). Standard specification for fly ash and raw calcined natural pozzolan for use as mineral admixture

in portland cement concrete. Philadelphia, United States: Annual Book of ASTM Standard.

Anonim (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Sekretariat Negara.

Anonim (2021). Pemerintah klaim abu batu bara bukan limbah B3 sudah berdasarkan 'kajian ilmiah', warga terdampak abu PLTU: 'debu bukan seperti cabe begitu dimakan langsung pedas'. <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-56324376>.

Campion, M. J., & Josh, P. (2000). Self-compacting concrete expanding the possibilities of concrete design and placement, Concrete International April, pp. 31-34.

Danielowska, D.S. (2006). Heavy metals in fly ash from a coal-fired power station in Poland. Polish J. of Environ. Stud., 15(6), pp. 943-946.

Dinakar, P. (2012). Design of self-compacting concrete with fly ash. Magazine of Concrete Research, 64(5), pp. 401-409.

EFNARC. (2005). The European guidelines for self-compacting concrete specifications, production and use, Norfolk UK: European Federation For Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

Ghorai, M., Patra, B.C., Sar, U.K., Bhattacharya, M., Jana, H., & Kar, A. (2015). The impact of coal fly ash power station on distribution and biodiversity of freshwater fishes in Rupnarayan river, West Bengal, India. International Journal of Current Research, 7(12), pp. 23954-23961.

Khatib, J.M. (2008). Performance of self-compacting concrete containing fly ash. Construction and Building Materials 22, pp. 1963-1971.

Naibaho, A., Takim, T., & Ningrum, D. (2016). Pengaruh penggunaan abu terbang (fly ash) terhadap kuat tekan dan penyerapan air pada mortar. Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 1(2), 91-100.

Okamura, H. & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1 No. 1, April, pp. 5-15.

Siddique, R., Aggarwal, P., & Yogesh Aggarwal, Y. (2012). Mechanical and durability properties of self-compacting concrete containing fly ash and bottom ash. Journal of Sustainable Cement-Based Materials, Vol. 1, No. 3, September, pp. 67-82.

SNI 2460. (2014). Spesifikasi abu terbang batu bara dan pozzolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton. Badan Standarnisasi Nasional (BSN). Jakarta.

Sika. (2014). Sika Viscocrete-3115N concrete admixture for high flow/self compacting concrete product Data Sheet Edition I, Sika, Indonesia.

UNEP. (2017). The Emissions gap report. Nairobi: United Nations Environment Programme.

Wiyono, W. & Wahyudi. (2018). Analisis unsur dalam fly ash dari industri pltu batubara dengan metode analisis aktivasi neutron, Jurnal Teknologi Lingkungan, Volume 19, No 2, pp. 221-228.

Young, J.F., Mindes, S., Gray, R.J., & Bentur, A.. (1998). The science and technology of civil engineering material, Prentice-Hall International Inc, USA.