

KAJIAN PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *SILICA FUME* TERHADAP PARAMETER BETON MEMADAT MANDIRI DENGAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI

Sherli Pramudhita Hapsari¹⁾, Wibowo²⁾, Endah Safitri³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{2) 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jalan Ir. Sutami 36A Surakarta 57126 Tlp 0271-647069, Email: sherlipramudhita@gmail.com

Abstract

One of the innovations that can be applied to many construction works is high strength self-compacting concrete (HSSCC). The addition of silica fume which has finer grain when compared with cement aims to increase the compressive strength, while the superplasticizer type Viscocrete 1003 is used to provide good workability. In this study w/b is kept constant at 0.27, superplasticizer levels are 1.7%, and variations in silica fume levels are 0%, 8%, 9%, 10% and 11%. This study tested concrete with two types of tests, i.e. fresh concrete test and hard concrete test. Fresh concrete testing is done by 3 methods, namely flow table test, l-box test, and v-funnel test. Silica fume with a grade of 8% gives the best results which meet all the requirements of each method. The higher the level of silica fume the lower the concrete workability, which happens because of the nature of silica fume that absorbs water. Hard concrete tests were performed at 14 days and 28 days. Best compressive strength results were obtained at 9% silica fume with strength of 76.02 MPa. Meanwhile, from the results of data analysis showed that the optimum compressive strength occurred at silica fume level of 9.34%

Keyword : Silica fume, self compacting concrete, high strength concrete.

Abstrak

Beton mutu tinggi yang mampu memadat mandiri (*high strength self compacting concrete-HSSCC*) merupakan salah satu inovasi beton yang dapat diaplikasikan pada banyak pekerjaan konstruksi. Penambahan *silica fume* yang memiliki butiran lebih halus jika dibandingkan dengan semen bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan, sedangkan *superplasticizer* jenis Viscocrete 1003 digunakan untuk memberikan workabilitas yang baik pada beton. Nilai w/b pada penelitian kali ini dijaga konstan sebesar 0,27, kadar *superplasticizer* adalah 1,7%, dan variasi kadar *silica fume* sebesar 0%, 8%, 9%, 10% dan 11%. Pengujian beton segar dilakukan dengan 3 metode, yaitu *flow table test*, *l-box test*, dan *v-funnel test*. Dari hasil pengujian tersebut, *silica fume* dengan kadar 8% memberikan hasil terbaik yang mana memenuhi seluruh persyaratan dari masing-masing metode. Semakin tinggi kadar *silica fume* maka workabilitas beton semakin berkurang. Hal ini terjadi karena sifat *silica fume* yang menyerap air. Pengujian beton keras dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari. Hasil kuat tekan terbaik didapatkan pada kadar *silica fume* sebesar 9% dengan kekuatan 76,02 MPa. Sementara itu dari hasil analisis data menunjukkan bahwa kuat tekan optimum terjadi pada kadar *silica fume* sebesar 9,34%.

Kata Kunci : *Silica fume*, beton memadat mandiri, beton mutu tinggi.

PENDAHULUAN

Beton memadat mandiri (*self compacting concrete, SCC*) adalah beton yang mampu mengalir karena beratnya sendiri yang dapat dicetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak dipadatkan sama sekali. Beton ini akan mengalir ke semua celah di tempat pengecoran dengan memanfaatkan berat sendirinya (Ludwing et al, 2001).

Kriteria beton mutu tinggi berubah-ubah sering dengan perkembangan teknologi. Pada tahun 1950, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960 hingga awal 1970, kriterianya naik menjadi 40 MPa. Saat ini, beton dikategorikan mutu tinggi apabila kuat tekannya diatas 50

MPa, sedangkan untuk 80 MPa dikategorikan sebagai beton mutu sangat tinggi, dan untuk 120 MPa bisa dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi (Supartono, 1998).

Silica fume adalah bagian dari *mineral admixture* berupa material pozzolan halus, dimana komposisi silika lebih banyak. Dikarenakan sifat fisik dan sifat kimianya ini, *silica fume* memiliki 2 pengaruh pada campuran beton yaitu sebagai *filler* dan bahan pozzoland yang bereaksi secara kimia. *Silica fume* memiliki ukuran butiran yang sangat halus bahkan ukurannya 100 kali lebih kecil ($0,1 - 0,2 \mu\text{m}$) jika dibandingkan dengan butiran semen. Dengan ukuran partikel yang sangat halus, *silica fume* memiliki kemampuan untuk mengisi ruang kosong tersebut sehingga campuran beton mengalami proses penjenjuran (lebih rapat) yang dapat meningkatkan kuat tekan dan impermeabilitasnya. Pengaruh kedua sebagai bahan pozzolan, dimana SiO_2 bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang merupakan bahan sisa dari hasil hidrasi semen. Hasil reaksi keduanya menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) sebagaimana yang dihasilkan hidrasi semen yang memberikan kekuatan pada beton kerasnya. Reaksi tersebut tersebar merata pada seluruh tempat di dalam beton termasuk pada ruang-ruang kosong pada lapisan agregat-pasta semen, sehingga menambah kekuatan lekatan antara agregat dan pasta semen.

Okamura and Ozawa (1995), mengusulkan metode *mix design* sederhana untuk SCC dengan spesifikasi bahan yang digunakan yaitu volume agregat kasar kurang dari 50% dari volume total, volume agregat halus 40% dari volume mortar, faktor air semen (w/c) yang ditetapkan rendah, dan dosis *superplasticizer* dan faktor w/b ditentukan setelahnya untuk memastikan kepadatannya. Berdasarkan Tabel 1, EFNARC (2005) merekomendasikan *range* komposisi beton SCC untuk permeter kubiknya seperti di bawah ini.

Tabel 1. *Mix Design* yang Disarankan oleh EFNARC (2005)

Bahan Material	Range dalam massa (kg/m^3)	Range dalam volume (liter/m^3)
<i>Powder</i>	380 – 600	
Pasta		300 – 380
Air	150 – 210	150 – 210
Agregat Kasar	750 – 1000	270 – 360
Agregat Halus	48% - 55% dari total berat agregat	
Rasio w/b dari volume		0,85 – 1,10

METODE

Rancang Campur (*Mix Design*)

Komposisi jumlah agregat yang digunakan tiap 1 m^3 beton dapat dilihat pada Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Rancang Campur Bsc – SF per 1 m^3

Kode.	Kadar <i>Silica Fume</i>	Ag. Kasar (Kg/m^3)	Ag. Halus (Kg/m^3)	Semen (Kg/m^3)	<i>Silica Fume</i> (Kg/m^3)	Air (lt/m^3)	SP (lt/m^3)
Bsc – SF 0%	0%	784,76	703,52	696,03	0	187,93	11,11
Bsc – SF 8%	8%	784,76	703,52	629,91	54,77	184,86	10,93
Bsc – SF 9%	9%	784,76	703,52	621,79	61,50	184,49	10,91
Bsc – SF 10%	10%	784,76	703,52	613,71	68,19	184,11	10,88
Bsc – SF 11%	11%	784,76	703,52	605,66	74,86	183,74	10,86

Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan terhadap parameter dari SCC yaitu *fillingability*, *passingability*, dan *segregation resistance*. Adapun pengujian-pengujian tersebut berupa *Flow Table Test*, *L-Box Test*, dan *V-Funnel Test*.

Pengujian Beton Keras

Pengujian yang dilakukan terhadap beton keras adalah pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan *Compressive Testing Machine (CTM)* pada umur beton 14 hari dan 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Beton Segar

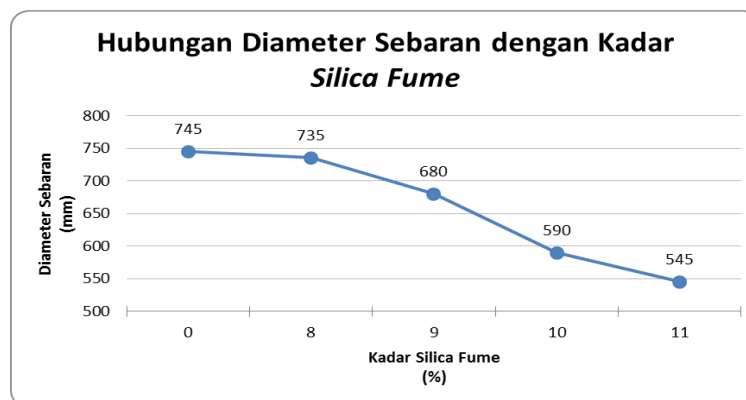
Hasil pengujian beton segar untuk masing-masing kadar *silica fume* dapat dilihat pada Tabel 3. dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Beton Segar

Kode	<i>Flow Table Test</i>				<i>L-Box Test</i>				<i>V-Funnel Test</i>			
	d_{rerata} (mm)	Syarat (mm)	T_{500} (s)	Syarat (s)	h_2/h_1	Syarat h_2/h_1	T_{200} (s)	T_{400} (s)	Waktu Aliran Awal / T_{awal} (s)	Syarat T_{awal} (s)	Waktu Aliran 5 menit / T_{5min} (s)	Syarat T_{5min} (s)
Bscc – SF 0%	745	650	2,15	2 – 5	1,000	0,8	1,66	4,96	8,00	8 – 12	12,21	+3
Bscc – SF 8%	735	650	4,72	2 – 5	0,875	0,8	2,68	4,70	8,65	8 – 12	11,88	+3
Bscc – SF 9%	680	650	12,49	2 – 5	0,857	0,8	3,31	7,65	11,28	8 – 12	17,49	+3
Bscc – SF 10%	590	650	14,94	2 – 5	0,786	0,8	6,59	15,35	17,65	8 – 12	25,23	+3
Bscc – SF 11%	545	650	17,30	2 – 5	0,75	0,8	8,68	19,11	20,94	8 – 12	26,97	+3
		800				1,0						

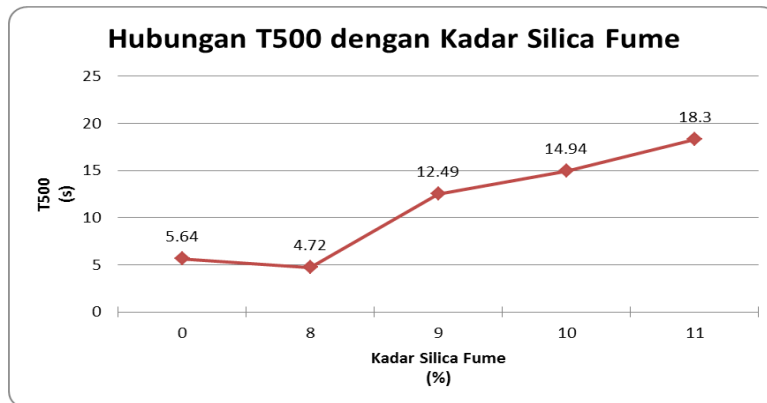
Flow Table Test

Hasil pengujian *Flow Table* dapat dilihat pada Gambar 1. Dan Gambar 2. berikut.



Gambar 1. Grafik Hubungan Diameter Sebaran *Flow Table Test* dengan Kadar *Silica Fume*

Berdasarkan Gambar 1. beton dengan variasi kadar *silica fume* 8% memiliki diameter tertinggi sebesar 735 mm jika dibandingkan dengan variasi kadar lainnya. Untuk kadar *silica fume* 9% diameter sebarannya adalah 680 mm. Variasi kadar *silica fume* 10% dan 11% menunjukkan penurunan diameter sebaran yang sangat signifikan yaitu 590 mm dan 545 mm. Adanya penurunan diameter sebaran dipengaruhi oleh kekentalan (viskositas) dari campuran tersebut. Semakin kecil diameter sebaran maka kekentalannya semakin tinggi dan semakin besar diameter sebaran maka kekentalannya semakin rendah. *Silica fume* memberikan pengaruh kekentalan yang baik pada campuran beton.

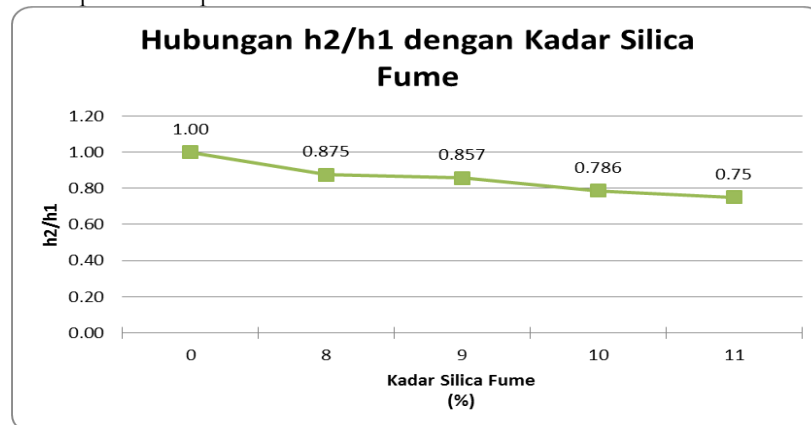


Gambar 2. Grafik Hubungan T_{500} pada *Flow Table Test* dengan Kadar *Silica Fume*

Berdasarkan Gambar 2 maka semakin tinggi kadar *silica fume* yang digunakan, jumlah air akan berkurang karena *silica fume* akan lebih banyak menyerap air sehingga campuran yang dihasilkan akan lebih kental. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ouchi et al (1998) yang mengatakan bahwa fungsi *filler* selain mengisi ruang kosong juga meningkatkan kekentalan dari campuran beton agar campuran terhindar dari segregasi. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan beton mencapai t_{500} akan semakin lama karena beton memiliki kekentalan yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tangtermsirikul dan Khayat (2000) bahwa jika kekentalan beton semakin tinggi maka waktu pengalirannya juga akan semakin lama.

L-Box Test

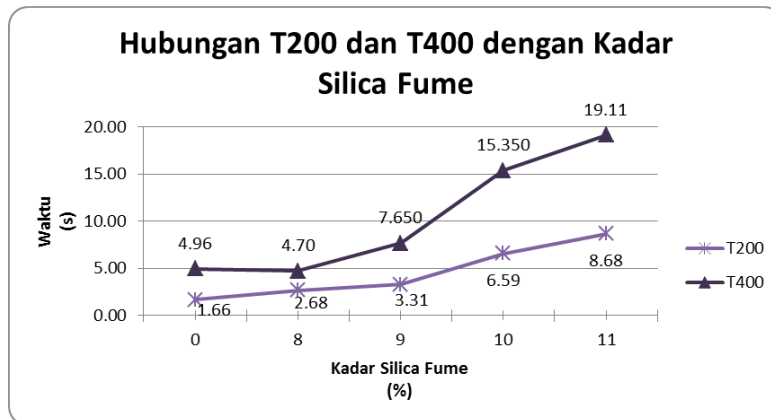
Hasil pengujian *L-Box* dapat dilihat pada Gambar 3. Dan Gambar 4. berikut.



Gambar 3. Grafik Hubungan h_2/h_1 pada *L-Box Test* dengan Kadar *Silica Fume*

Berdasarkan Gambar 3, *silica fume* dengan variasi kadar 8% memiliki nilai h_2/h_1 yang paling optimum yaitu sebesar 0,875. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar *silica fume* 8% memiliki kemampuan untuk mengisi ruangan dan perataan permukaan campuran yang lebih baik. Pada kadar *silica fume* 9% nilai h_2/h_1 sebesar

0,857. hal ini menunjukkan penurunan dari pada hasil sebelumnya, namun masih memenuhi persyaratan. Untuk kadar *silica fume* 10% dan 11% nilai h_2/h_1 adalah 0,786 dan 0,750. Dapat dilihat bahwa pada penambahan kadar ini nilai h_2/h_1 menurun drastis dan tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh EFNARC (2002). Beton yang memiliki kekentalan rendah akan lebih mudah mengalir dari prisma vertikal menuju prisma horizontal melalui tulangan dengan baik hingga mencapai stabilitas perataan permukaan, begitu pula sebaliknya. Pada pengujian ini, semakin tinggi kadar *silica fume* maka nilai h_2/h_1 akan menurun. Kadar *silica fume* yang tinggi akan meningkatkan kekentalan campuran beton sehingga energi yang digunakan untuk melawan gesekan/friksi berkurang dan berakibat pada waktu pengaliran beton yang semakin meningkat.

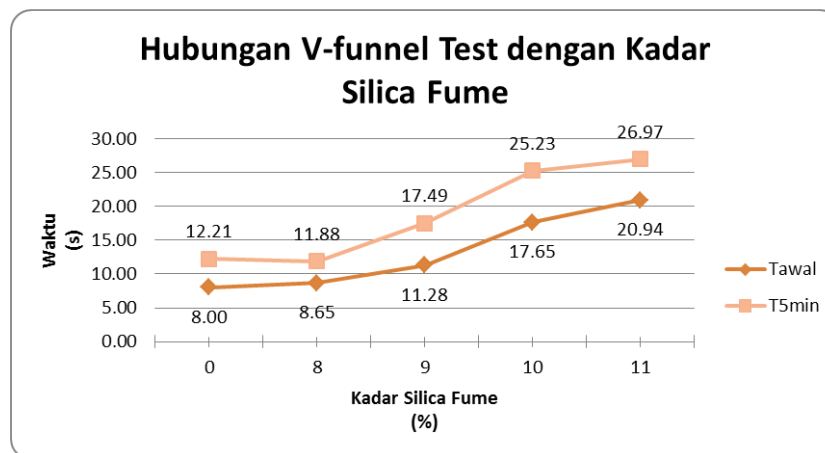


Gambar 4. Grafik Hubungan T₂₀₀ cm dan T₄₀₀ cm pada *L-Box Test* dengan Kadar *Silica Fume*

Berdasarkan Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa campuran beton memiliki waktu pengaliran untuk mencapai panjang sebaran sebesar 200 mm (T₂₀₀) dan 400 mm (T₄₀₀) yang terbilang lama. Hal ini mengindikasikan adanya hambatan aliran beton dari prisma vertikal menuju prisma horizontal. Waktu pengaliran ini dipengaruhi oleh kekentalan beton. Semakin tinggi kadar *silica fume* maka kekentalan beton juga akan semakin tinggi. Kekentalan yang tinggi mengurangi energi dari berat sendiri beton yang berada pada prisma vertikal untuk melawan gesekan yang ada sehingga waktu alir yang terjadi semakin lama. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tangtermisrikul and Khayat (2000) yang menyebutkan bahwa kekentalan beton yang tinggi akan memperlambat waktu alir karena beton membutuhkan energi yang lebih besar pula untuk melewati tulangan namun sebaliknya jika kekentalan beton rendah maka akan mengakibatkan *aggregate blocking*.

V-Funnel Test

Hasil pengujian *V-Funnel* dapat dilihat pada Gambar 5. berikut.



Gambar 5. Grafik Hubungan Waktu Aliran pada *V-funnel Test* dengan Kadar *Silica Fume*

Berdasarkan Gambar 5, kadar *silica fume* 11% membutuhkan waktu alir yang paling lama yaitu 20,94 detik untuk tertuang habis dari alat uji *v-funnel*, sedangkan T_{5min} membutuhkan waktu 26,97 detik. Untuk kadar *silica fume* yang memenuhi seluruh persyaratan baik itu waktu alir awal maupun T_{5min} adalah kadar 8% dengan waktu alir awal 8,65 detik dan T_{5min} sebesar 11,88 detik. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar *silica fume* maka waktu yang dibutuhkan campuran untuk mengalir semakin besar dikarenakan campuran beton memiliki kekentalan yang tinggi. Dengan tidak terpenuhinya syarat waktu pengaliran pada T_{5min} yaitu sebesar +3 detik dari waktu pengaliran awal maka beton dengan kadar *silica fume* 9%, 10% dan 11% mengindikasikan terjadinya segregasi.

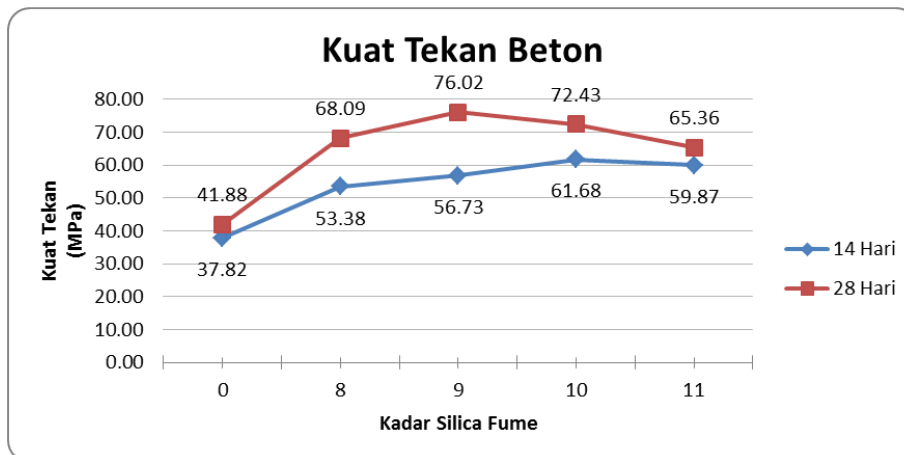
Pengujian Beton Keras

Hasil pengujian kuat tekan beton pada silinder berukuran 15x30 cm dengan umur 14 hari dan 28 hari selengkapnya disajikan dalam Tabel 4, sedangkan Gambar 6 menunjukkan perbandingan kuat tekan umur 14 dan 28 hari.

Tabel 4. Hasil Kuat Tekan Beton Umur 14 dan 28 Hari

Kode	Kuat Tekan 14 Hari (MPa)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
Bscc – SF 0%	37,82	41,88
Bscc – SF 8%	53,38	68,09
Bscc – SF 9%	56,73	76,02
Bscc – SF 10%	61,78	72,43
Bscc – SF 11%	59,97	65,40

Dapat dilihat pada Tabel 4 bahwa dengan adanya substitusi *silica fume* maka kekuatan tekan beton akan semakin bertambah jika dibandingkan dengan beton yang tidak mengandung *silica fume*. Hal ini terjadi karena *silica fume* memiliki peran ganda pada campuran beton yaitu sebagai *filler* dan *pozzolan*. *Silica fume* mampu berperan sebagai *filler* yang mengisi ruang kosong diantara agregat dan pasta semen. Dengan berkurangnya ukuran pori dalam beton, maka diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk memulai retakan sehingga kekuatan beton akan meningkat.

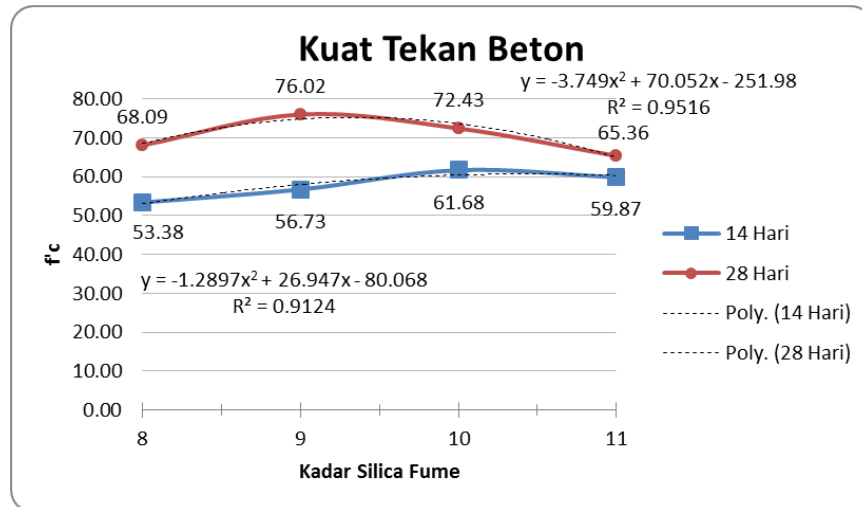


Gambar 6. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar *Silica Fume* pada Umur Beton 14 dan 28 Hari

Berdasarkan Gambar 6, kuat tekan beton yang tidak disubstitusikan dengan *silica fume* (Bscc SF – 0%) telah memenuhi persyaratan beton mutu tinggi pada umur 28 hari yang mana memiliki kuat tekan sebesar 41,9 MPa. Menurut SNI 03-6468-2000 beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan minimum 41,4 MPa.

Silica fume memberikan dampak pada peningkatan kuat tekan beton seiring bertambahnya waktu. Namun, pada kadar tertentu kuat tekan beton dengan *silica fume* akan mengalami penurunan. Adanya penurunan kuat tekan beton setelah penambahan suatu kadar tertentu dikarenakan sifat *silica fume* yang menyerap air sehingga kandungan air didalam beton berkurang dan berdampak pada nilai w/b yang menjadi kecil. Nilai w/b yang kecil tidak selalu meningkatkan kuat tekan beton, akan tetapi pada suatu nilai w/b tertentu akan membuat kuat tekannya menurun.

Untuk mengetahui nilai optimum kuat tekan optimum dari kadar *silica fume* yang digunakan maka disajikan Gambar 7. sebagai berikut



Gambar 7. Analisis Regresi Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 7. diperoleh persamaan kuadrat untuk kuat tekan beton pada umur 14 hari dan 28 hari. Dari persamaan-persamaan kuadrat ini nantinya akan diperoleh persentasi kadar silica fume yang menghasilkan kuat tekan optimum. Persamaan kuadrat untuk kuat tekan umur 14 hari adalah $y = -1,2897x^2 + 26,947x - 80,068$, sehingga nilai kuat tekan optimum terjadi pada kadar silica fume sebesar 10,48%. Untuk kuat tekan 28 hari, persamaan kuadratnya adalah $y = -3,749x^2 + 70,052x - 251,98$ sehingga nilai kuat tekan optimum berada pada kadar silica fume sebesar 9,34%.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

- Penggantian semen dengan kadar *silica fume* sebesar 8% memberikan hasil yang baik karena mampu memenuhi seluruh parameter SCC. Semakin tinggi kadar *silica fume* yang disubstitusikan maka kemampuan mengalir beton akan semakin berkurang karena beton akan semakin kental (*viscous*),
- Beton SCC dengan *silica fume* memiliki kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton SCC yang tidak menggunakan *silica fume*, baik pada umur 14 hari maupun umur 28 hari,
- Kuat tekan beton optimum terjadi pada kadar *silica fume* sebesar 10,48% pada umur 14 hari dan 9,34% pada umur 28 hari

REFERENSI

- EFNARC. (2002). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete.
- EFNARC. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use.
- Ludwing, H.M., Weise, F., Hemrich, W. and Ehrlich, N. (2001). "Der neue Beton – Selbstverdichtender Beton – Grundlagen und Praxis", Beton Fertigteile (BHF), No. 7, July 2001.

- Okamura, H., and Ozawa, K. (1995). *Self-Compactable High Performance Concrete*. American Concrete Institute, Detroit.
- Ouchi, M., Hibino, M., Ozawa, K and Okamura, H. (1998). A rational mix-design method for mortar in selfcompacting concrete, *Proceeding of the 6th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Taipei, ROC, Vol. 2, pp. 1307-1312.
- Supartono, FX. (1998). *Beton Berkinerja Tinggi dan Keterkaitannya Dengan Pembangunan Nasional Memasuki Abad 21*. Seminar Material Konstruksi di Jurusan Sipil FTUI, Jakarta, 24 Maret 1998.
- Tangtermsirikul, S and Khayat, K. (2000). "Part III: Fresh concrete properties", in: A. Skarendahl, O. Petersson (Eds.), *Self-Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee*, 17-22.