

Fresh Properties dan Kuat Lentur Self Fiber Compacting Concrete (SFCC) Dengan Bahan Tambah Silica Fume dan Serat Nylon

Fresh Properties and Flexural Strength Self Fiber Compacting Concrete (SFCC) With Silica Fume and Nylon Fiber

Hadi Surya Ramadhan, Fadillawaty Saleh

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. *Self fiber compacting concrete (SFCC)* merupakan pengembangan dari beton konvensional dengan penambahan serat, memiliki tingkat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga dapat mengalir ke dalam cetakan dengan berat sendirinya, kemudian mampu memadat dengan sendirinya tanpa melakukan proses pemadatan dengan bantuan *vibrator* dan *compactor*. Kelemahan dari beton SCC yaitu memiliki kelemahan di kuat tarik, pola keruntuhannya mempunyai sifat getas sehingga dapat mudah runtuh jika terjadi suatu guncangan, oleh karena itu dengan adanya penambahan serat *nylon* pada beton diharapkan mampu membuat pola keruntuhan menjadi lebih daktail. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuat lentur SFCC pada umur perendaman (*curing*) 7, 14, dan 28 hari dengan penambahan *silica fume* variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%, serat *nylon* dengan kadar 1% dan *superplasticizer* dengan jenis *sikament LN* dengan kadar 1,5%. Pengujian sifat beton segar (*Fresh Properties*) dilakukan dengan pengujian *slump flow*, *T50*, *v-funnel*, dan *l-box*. Hasil pengujian sifat beton segar dapat disimpulkan bahwa dari keempat metode tersebut sudah memenuhi standar EFNARC. Hasil pengujian kuat lentur tertinggi terdapat pada variasi *silica fume* 5% yaitu sebesar 6,633 MPa pada umur 28 hari. Dengan penambahan kadar *silica fume* dalam jumlah yang lebih tinggi dapat menyebabkan nilai kuat lentur pada beton menjadi menurun.

Kata-kata kunci: *Self fiber compacting concrete*, *silica fume*, serat *nylon*, beton segar, dan kuat lentur.

Abstract. *Self fiber compacting concrete (SFCC)* is a development of conventional concrete with the addition of fiber, It has a high level of *fluidity* so that it can flow into the mold with its own weight, then able to compact it self without carrying out the compaction process with the help of *vibrators* and *compactors*. Weakness of SCC concrete which has a weakness in tensile strength, the collapse pattern has brittle properties so that it can easily collapse if there is a shock, therefore with the addition of *nylon* fiber to the concrete expected to be able to make the collapse pattern more ductile. This study aimed to analyze the *flexural strength* of SFCC at curing age 7, 14, and 28 days with the addition of *silica fume* variations 0%, 5%, 10%, and 15%, used 1% *nylon* fiber, and *superplasticizer* 1.5% with type of *sikament LN*. *Fresh properties* testing in this study using *slump flow*, *T50*, *v-funnel* and *l-box*. The results of testing the *fresh properties* concrete can be concluded that of the four methods have met EFNARC standards. The results of the highest *flexural strength* test were found in the variation of 5% *silica fume* which was 6,633 MPa at the age of 28 days. The addition of higher levels of *silica fume* can cause the value of *flexural strength* in the concrete to decrease.

Keywords : *Self fiber compacting concrete*, *silica fume*, *nylon fiber*, *fresh properties*, and *flexural strength*.

a. Pendahuluan

Indonesia adalah negara berkembang yang saat ini sedang gencar melakukan pembangunan di bidang infrastruktur. Dari adanya pembangunan tersebut kebanyakan di dalam pelaksanaannya menggunakan struktur beton. Beton adalah salah satu bahan pada bangunan yang dibuat dari campuran agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen, air dan bahan tambah (*admixture*). Pada saat di lapangan alat *compactor* dan *vibrator* mempunyai fungsi untuk memadatkan beton supaya tidak ada rongga udara di dalam beton segar. Karena rongga tersebut dapat mengurangi mutu beton itu sendiri. Karakteristik beton *self fiber compacting concrete* (SFCC) ini dapat memadat dengan sendirinya tanpa bantuan alat seperti *vibrator* sehingga dalam penggunaan beton tersebut tidak perlu tenaga kerja yang banyak dan dapat mengurangi kebisingan dari alat *vibrator*.

Sadrumontazi dkk (2015), melakukan penelitian tentang efek gabungan dari partikel *polyethylene terephthalate* (PET) dan bahan tambah *pozzolan* pada sifat *self compacting concrete* (SCC). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai *fresh properties*, kuat tekan dan kuat lentur. Hatungimana dkk (2019), melakukan penelitian tentang pengaruh penggantian semen parsial dengan *silica fume* dan *fly ash* terhadap kuat tekan beton, penyerapan air, permeable volume pori, daya serap air, dan tingkat penghambusan permukaan radon pada campuran mortar. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggantian semen dengan *silica fume* terhadap kuat tekan beton.

Jalal dkk (2015), meneliti tentang pengaruh dari beberapa pencampuran yaitu partikel *nano silica*, *silica fume* dan *fly ash* kelas F pada sifat dari *high performance self compacting concrete* (HPSCC). Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengurangan fraksi semen *portland* dengan tujuan pengurangan kadar semen tersebut diganti dengan fraksi yang berbeda yaitu dengan campuran *pozzolan*. Benaicha dkk (2019), melakukan sebuah penelitian tentang efek dosis *superplasticizer* pada sifat *self compacting concrete* dengan korelasi antara reologi dan kekuatan. Penelitian bertujuan untuk

mencirikan efek dosis *superplasticizer* pada sifat campuran beton segar. Kemudian, hubungan antara tes reologi yang digunakan atau *fresh properties* dan kuat tekan.

Esfahani dkk (2018), Melakukan sebuah penelitian tentang efek air Magnetik terhadap kuat Tekan dan dosis *superplasticizers* dan air pada sifat beton *self compacting concrete*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efek air magnet pada SCC terhadap kuat tekan, dengan menjaga dosis *superplasticizer* menjadi konstan dan dapat mengurangi rasio air. Khan dan Ali (2016), Melakukan penelitian tentang penggunaan serat kaca dan serat *nylon* dalam beton untuk mengendalikan mikro usia dini retak di dek jembatan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur dalam hal untuk mengurangi umur awal micro cracking (EAMC) di deck jembatan

Lee (2019), melakukan sebuah penelitian tentang pengaruh penambahan serat *nylon* terhadap kinerja beton agregat daur ulang. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat *nylon*, campuran agregat daur ulang, dan campuran agregat alami terhadap kuat tekan. Hesami dkk (2016), Melakukan sebuah penelitian tentang perilaku mekanis dari perkerasan beton *self compacting concrete* memasukkan serbuk ban karet daur ulang dan diperkuat dengan serat *polypropylene*. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan cara terbaik untuk memproduksi beton paving dengan menggunakan limbah serbuk ban karet sebagai bahan komponen.

Belaidi dkk (2015), melakukan sebuah penelitian tentang efek dari eksperimental semen *ternary* pada beton segar dan sifat mengeras pada *self compacting concrete*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efek semen *ternary* pada beton SCC terhadap nilai kuat tekan. Raymond dkk (2017) melakukan sebuah penelitian tentang mengoptimalkan kinerja pada beton mutu tinggi *self compacting concrete*. Tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan kinerja beton SCC mutu tinggi terhadap kuat tekan beton.

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh persentase variasi *silica*

fume yang digunakan sebagai bahan pengganti semen serta penambahan serat *nylon* 1% dengan persentase yang tetap dari berat semen terhadap kuat lentur beton *self fiber compacting concrete*.

b. Metode Penelitian

Bahan

Agregat halus (pasir)

Agregat halus (pasir) pada penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari Clereng kulon progo. Sifat-sifat mekanik dari pasir tersebut terdapat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Sifat mekanik agregat halus (pasir)

No	Pengujian	Satuan	Nilai
1	Gradasi	-	Memenuhi standar ASTM
2	Kadar air	%	1,97
3	Berat jenis	-	2,81
4	Penyerapan air	%	2,81
5	Berat satuan	gr/cm ³	1,72
6	Kadar lumpur	%	4,00

Agregat kasar (kerikil)

Agregat kasar (kerikil) pada penelitian ini menggunakan kerikil yang berasal dari Clereng kulon progo. Sifat-sifat mekanik dari kerikil yang digunakan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Sifat mekanik agregat kasar (kerikil)

No	Pengujian	Satuan	Nilai
1	Berat jenis	-	2,82
2	Penyerapan air	%	2,82
3	Berat satuan	gr/cm ³	1,53
4	Kadar lumpur	%	4,91
5	Keausan agregat	%	32,87
6	Kadar air	%	3,71

Semen

Semen *portland* didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling secara bersama-sama dengan satu atau lebih bahan tambahan yang berbentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan

boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (BSN, 2004).

Air

Air yang digunakan pada penelitian ini menggunakan air dari laboratorium Teknik Sipil UMY.

Silica fume

Silica fume adalah material *pozzolan* yang sangat halus, dimana komposisi pada *silica* lebih banyak sekali dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy *ferro-silikon* (gabungan antara *micro silica* dengan *silica fume*) (ASTM, 2013). *Silica fume* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Sika Indonesia.

Superplasticizer

Superplasticizer dipakai untuk pembuatan *self compacting concrete* agar mempercepat pengerasan pada beton dan dapat mengurangi kebutuhan air. Jenis *superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini berjenis *Sikament LN* yang berasal dari PT. Sika Indonesia sebagai zat pereduksi air untuk mempercepat pengerasan pada beton SCC dan meningkatkan *workability* sesuai dengan (ASTM, 2015).

Serat

Pada penelitian ini digunakan serat *nylon* yang di potong dengan panjang 5 cm. Serat *nylon* digunakan sebanyak 1% dari berat semen.

Alat

Alat uji *fresh properties*

Pada pengujian *fresh properties* yang diuji terdiri dari meja sebar T50 untuk menguji *flowabilitas* segar beton, *v-funnel* untuk menguji *viskositas* dan *filling ability* beton, dan *l-box* untuk mengukur kemampuan *passing ability* beton.

Concrete Mixer

Concrete Mixer adalah alat yang digunakan untuk mencampur adukan beton.

Cetakan balok

Cetakan balok yang digunakan untuk mencetak beton memiliki dimensi 60 cm × 15 cm × 15 cm.

Flexural machine test

Flexural machine test adalah alat yang digunakan untuk menguji kuat lentur beton.

Prosedur Pengujian

Pengujian sifat fisik dan mekanik agregat

Pengujian sifat fisik dan mekanik material untuk campuran beton dilakukan untuk mengetahui apakah bahan material beton sudah memenuhi syarat kelayakan atau belum. Bahan material campuran beton terdiri dari agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil)

Pengujian fresh properties

Pengujian beton segar (*fresh properties*) *self compacting concrete* dilakukan untuk mengetahui karakteristik pada beton segar *self compacting concrete* (SCC). Pada penelitian ini dilakukan 4 pengujian beton segar yaitu *v-funnel*, *l-box*, *slump flow* dan meja sebar (T50).

Mix design

Mix design yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian yang merupakan pengembangan dari penelitian Anggarwal dkk (2008), yaitu campuran *self compacting concrete* (SCC). Mutu rencana yang digunakan yaitu sebesar 31,54 MPa dengan nilai Fas 0,28. Persentase *silica fume* yang digunakan pada campuran beton sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%. *Mix design* dalam Penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 *Mix design* untuk 1 m³

BAHAN (Kg/m ³)	Variasi <i>silica fume</i>			
	0%	5%	10%	15%
Semen	485	460.75	436.5	412.25
Kerikil	561	561	561	561
Pasir	600	600	600	600
<i>Silica fume</i>	-	24.25	48.50	72.75
Nylon	-	4.85	4.85	4.85
<i>Superplasticizer</i>	7.275	7.275	7.275	7.275
Air	135	135	135	135

Pengujian kuat lentur beton

Pengujian kuat lentur beton SFCC dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari menggunakan alat uji lentur *flexural machine test*.

Hasil pembacaan optimum yang diperoleh dari manometer kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai kuat lentur dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$\sigma_1 = \frac{3P.L}{2b.d^2} \dots\dots\dots 1$$

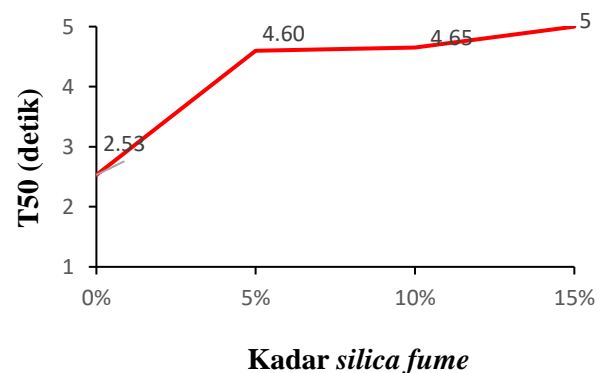
dengan:

- σ_1 : kuat lentur benda uji (MPa)
- P : beban tertinggi yang terbaca oleh mesin uji (N),
- L : jarak antara dua garis perletakan (mm),
- b : lebar tampang lintang patah arah horisontal (mm), dan
- d : lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm).

c. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Fresh properties

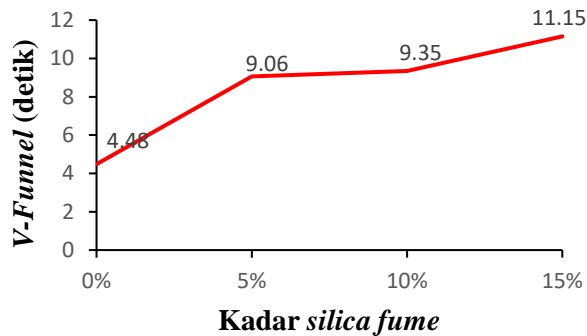
Pengujian T50 dilakukan untuk mengetahui *flowability* dan laju aliran pada SCC tanpa ada penghalang. Pengujian ini menggunakan alat kerucut *abrams cone* dan meja sebar T50 cm. Hasil pengujian T50 dari beton *self fiber compacting concrete* (SFCC) dengan tambahan *silica fume* variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% secara berturut-turut 2,53 detik, 4,6 detik, 4,85 detik, dan 5 detik. Hasil pengujian T50 dapat dilihat pada Gambar 1. Menurut (EFNARC, 2002) memiliki kriteria dengan durasi waktu 2-5 detik. Hasil yang didapat tersebut dapat dinyatakan bahwa pengujian T50 telah memenuhi syarat yang sudah ditentukan.



Gambar 1 Hubungan T50 dan kadar *silica fume*

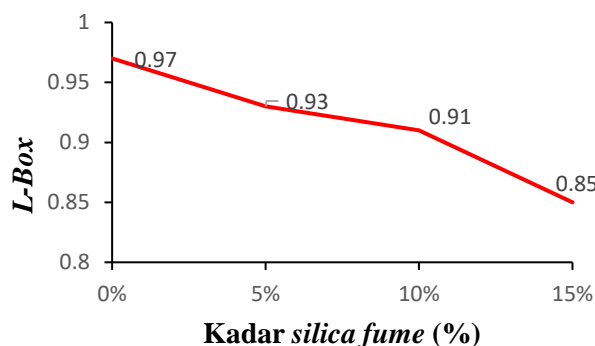
Pengujian *v-funnel* dilakukan untuk mengetahui nilai *viskositas* dan *filling ability* pada beton SCC. Alat yang digunakan pada pengujian ini yaitu corong yang berbentuk V, dibagian bawah ada pintu yang dapat dibuka dan ditutup. Hasil pengujian *v-funnel* dari beton SFCC dengan penambahan *silica fume* variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% secara berturut-turut

yaitu 4,48 detik, 9,06 detik, 10,08 detik, dan 11,15 detik. Hasil pengujian *v-funnel* dapat dilihat pada Gambar 2. Menurut (EFNARC, 2002) kriteria pada campuran beton yang keluar mengalir dari corong memiliki durasi waktu 6-12 detik. Hasil yang didapat tersebut dapat dinyatakan bahwa pengujian *v-funnel* memenuhi syarat yang sudah ditentukan.



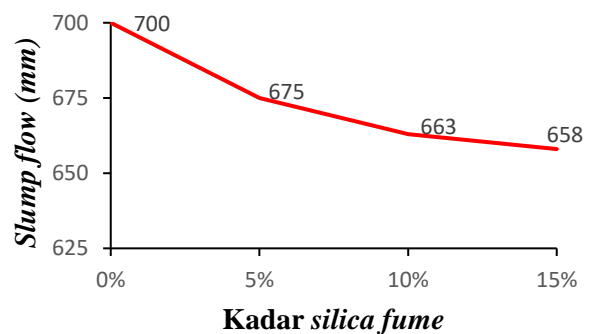
Gambar 2 Hubungan *v-funnel* dan kadar silica fume

Pengujian *l-box* dilakukan untuk mengetahui kemampuan *passing ability* pada beton SCC dalam mengalir melalui lubang yang rapat termasuk ruang antara tulangan besi penguat dan penghalang lainnya tanpa segregasi. Hasil pengujian *l-box* dari beton SFCC dengan penambahan *silica fume* variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% secara berturut-turut yaitu 0,97; 0,93; 0,91; dan 0,85. Hasil pengujian *l-box* dapat dilihat pada Gambar 3. Menurut (EFNARC, 2002) kriteria yang dipakai adalah perbandingan h_2/h_1 yaitu antara 0,8 – 1. Hasil yang didapat tersebut dinyatakan bahwa pengujian *l-box* telah memenuhi syarat yang sudah ditentukan.



Gambar 3 Hubungan *l-box* dan kadar silica fume

Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui *flowability* yang merupakan pemeriksaan utama bahwa konsistensi beton segar telah memenuhi spesifikasi. Hasil pengujian *slump flow* dari beton SFCC dengan penambahan *silica fume* variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% secara berturut-turut yaitu 700 mm, 675 mm, 663 mm, dan 652 mm. Hasil pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Gambar 4. Menurut (EFNARC, 2002) syarat pengujian *slump flow* pada *self fiber compacting concrete* (SFCC) yaitu antara 550 - 850 mm. Hasil yang didapat dinyatakan bahwa pengujian *slump flow* telah memenuhi syarat yang sudah ditentukan.



Gambar 4 Hubungan *slump flow* dan kadar silica fume

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Self Fiber Compacting Concrete.

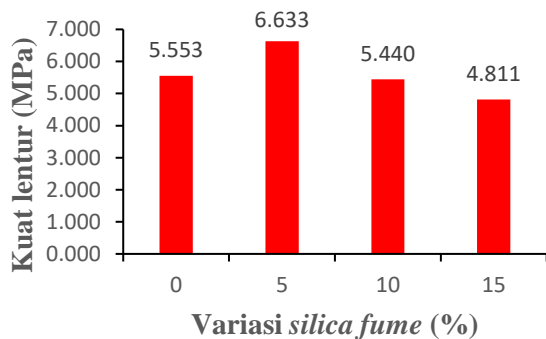
Pengujian kuat lentur beton *self fiber compacting concrete* (SFCC) dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari. *Silica fume* digunakan sebagai substitusi dengan semen, persentase *silica fume* 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Bahan tambah serat nylon persentase 1% dan *superplasticizer* jenis sikament LN dengan persentase 1,5% dari berat powder.

Tabel 4 Hasil uji kuat lentur

Kode	Kuat Lentur 7 hari (MPa)	Kuat Lentur 14 hari (MPa)	Kuat Lentur 28 hari (MPa)
LT 0%SF	5.346	5.399	5.553
LT 5% SF	5.980	6.100	6.633
LT 10% SF	4.665	5.334	5.440
LT 15% SF	4.256	4.728	4.811

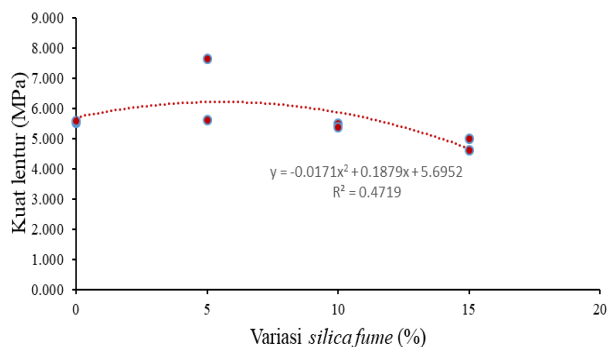
Beton dengan penambahan *silica fume* dalam campuran beton *self fiber compacting concrete* berpengaruh terhadap kuat lenturnya. Beton dengan persentase *silica fume* 5% memiliki nilai kuat lentur paling tinggi dan beton dengan persentase *silica fume* 15% memiliki nilai kuat lentur paling rendah, hal ini disebabkan karena jika semakin bertambahnya persentase kadar *silica fume* maka kuat lentur akan semakin menurun.

Hubungan antara kuat lentur dengan variasi *silica fume* dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan penambahan serat nylon sebanyak 1% dan *superplasticizer* 1.5% dengan umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.



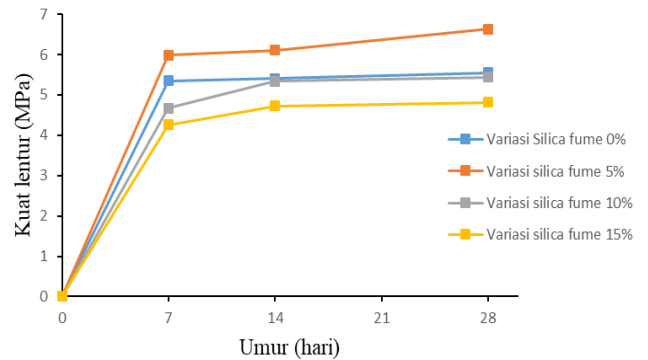
Gambar 5 Hubungan kuat lentur dan variasi *silica fume*

Gambar 6 dengan persamaan $y = -0,0171x^2 + 0,1879x + 5,6952$, berdasarkan persamaan tersebut diperoleh nilai dari kuat lentur optimum dengan variasi *silica fume* 0%, 5%, 10% dan 15% yaitu pada variasi 5% dengan nilai kuat lentur 6,21 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar *silica fume* yang digunakan maka semakin rendah nilai kuat lentur yang didapatkan.



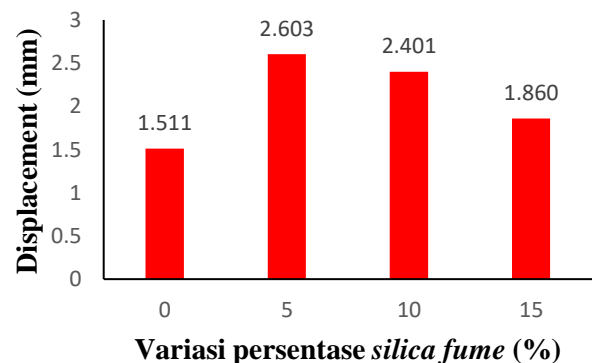
Gambar 6 Hubungan kuat lentur dan variasi *silica fume*

Hubungan antara umur beton dengan nilai kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa umur beton benda uji dapat mempengaruhi nilai kuat lentur pada semua variasi *silica fume* dan serat nylon. Jadi jika semakin bertambahnya umur beton maka semakin tinggi nilai kuat lentur tersebut.



Gambar 7 Hubungan kuat lentur dan umur beton

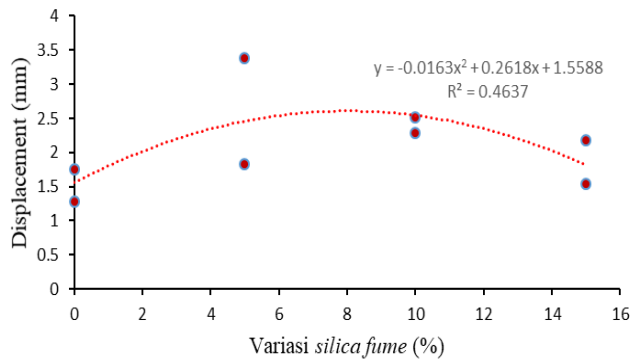
Hubungan antara *displacement* dengan variasi *silica fume* pada beton *self fiber compacting concrete* (SFCC) dengan variasi *silica fume* 0%, 5%, 10% dan 15% dan juga penambahan serat nylon dan *superplasticizer* pada umur beton 28 hari dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil yang didapatkan pada beton dengan variasi *silica fume* 5% memiliki nilai *displacement* paling tinggi dengan nilai 2,603 mm, sedangkan hasil yang didapat pada beton tanpa *silica fume* memiliki nilai *displacement* paling rendah dengan nilai 1,511 mm.



Gambar 8 Hubungan *displacement* dan variasi *silica fume*

Hubungan antara *displacement* dengan variasi *silica fume* yang ditunjukkan pada Gambar 9 dengan persamaan $y = -0,0163x^2 + 0,2618x + 1,5588$, berdasarkan persamaan

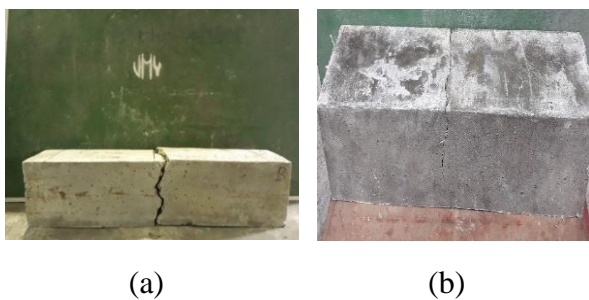
tersebut dapat diperoleh nilai *displacement* optimum dari variasi *silica fume* 0%, 5%, 10% dan 15% yaitu pada variasi 8% dengan nilai *displacement* 2,61 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa jika semakin tinggi variasi *silica fume* yang digunakan maka akan semakin rendah nilai *displacement* yang didapatkan.



Gambar 9 Hubungan *displacement* dan variasi *silica fume*

Kondisi fisik benda uji setelah diuji lentur

Benda uji tanpa tambahan serat *nylon* setelah dilakukan pengujian kuat lentur beton mengalami patah pada tengah bentang, hal ini terjadi karena beton tidak memiliki daya ikat yang tinggi akibatnya beton terbelah, dapat dilihat pada Gambar 10 (a). Benda uji dengan tambahan serat *nylon* setelah dilakukan pengujian kuat lentur beton mengalami retak pada bagian tengah bentang, hal ini terjadi karena beton memiliki daya ikat yang tinggi sehingga beton tidak terbelah, dapat dilihat pada Gambar 10 (b).

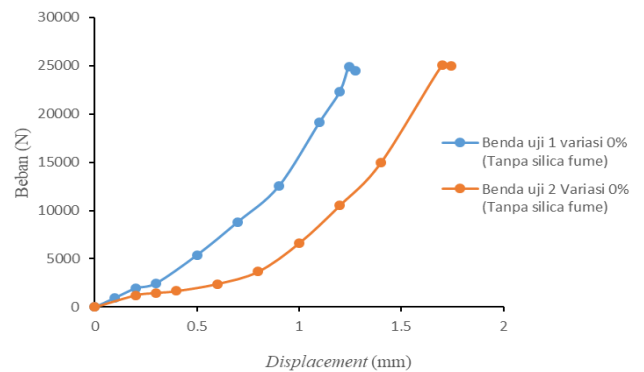


Gambar 10 Kondisi fisik benda uji setelah diuji kuat lentur : (a) SFCC tanpa serat (b) SFCC dengan serat

Hubungan antara beban dan displacement

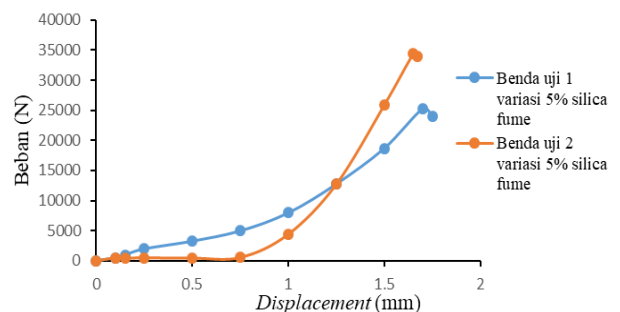
Hubungan antara beban dan *displacement* pada beton *self fiber compacting concrete* dengan variasi persentase *silica fume* 0% (beton normal) dengan penambahan serat

nylon dan *superplasticizer* pada umur beton 28 hari. Didapatkan hasil *displacement* dari dua benda uji sebesar 1,746 mm, dapat dilihat pada Gambar 11.



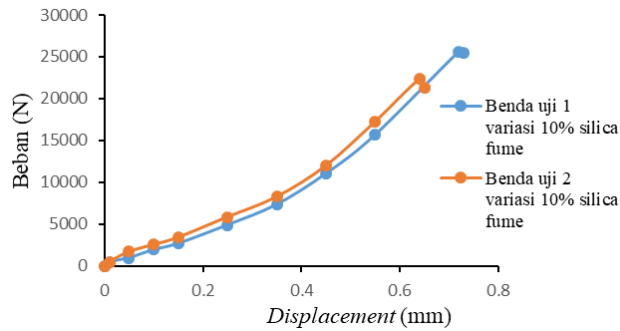
Gambar 11 Hubungan beban dan *displacement* variasi 0%

Hubungan antara beban dan *displacement* pada beton *self fiber compacting concrete* dengan variasi persentase *silica fume* 5% dengan penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur beton 28 hari. Didapatkan hasil *displacement* dari dua benda uji sebesar 1,750 mm, dapat dilihat pada Gambar 12.



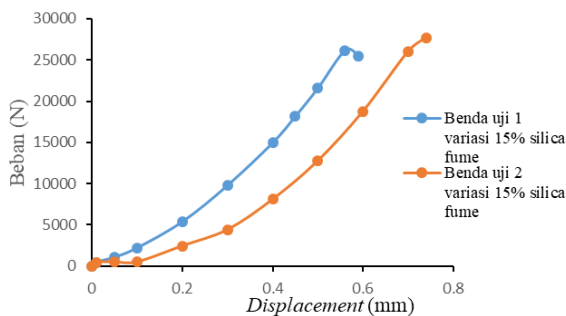
Gambar 12 Hubungan beban dan *displacement* variasi 5%

Hubungan antara beban dan *displacement* pada beton *self fiber compacting concrete* dengan variasi persentase *silica fume* 10% dengan penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur beton 28 hari. Didapatkan hasil *displacement* dari dua benda uji sebesar 0,730 mm, dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Hubungan beban dan displacement variasi 10%

Hubungan antara beban dan displacement pada beton *self fiber compacting concrete* dengan variasi persentase *silica fume* 15% dengan penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur beton 28 hari. Didapatkan hasil *displacement* dari dua benda uji sebesar 0,740 mm, dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Hubungan beban dan displacement variasi 15%

d. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengujian *fresh properties* dan kuat lentur pada *self fiber compacting concrete (SFCC)* dengan variasi *silica fume* dengan penambahan *superplasticizer* dan serat *nylon* dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur yang telah dilakukan, didapatkan nilai kuat lentur optimum pada persentase *silica fume* 5 % dengan nilai kuat lentur 6,633 MPa.
- Hasil pengujian *fresh properties* dapat disimpulkan bahwa hasil yang telah didapat dari seluruh pengujian masuk persyaratan dan ketentuan yang ada pada (EFNARC)
- Nilai kuat lentur pada beton SFCC dengan umur beton yaitu berbanding lurus, jika umur beton semakin bertambah maka akan semakin bertambah nilai kuat lenturnya.

e. Daftar Pustaka

- Aggarwal, P., Siddique, R., Aggarwal, Y., dan M Gupta, S. (2008). Self-Compacting Concrete Procedure for Mix design. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 15-24.
- ASTM C1240-15. 2013. *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*. Philadelphia, USA: ASTM International.
- ASTM C1602-C1602M. 2015. *Standard Specification For Mixing Water Used In The Production Of Hydraulic Cement Concrete*. Philadelphia, USA: America.
- Belaidi, A. S. E., Kenai, S., Kadri, E. H., Soualhi, H., dan Benchaâ, B. 2016. Effects of experimental ternary cements on fresh and hardened properties of self-compacting concretes. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 30(3), 247–261.
- Benaïcha, M., Hafidi Alaoui, A., Jalbaud, O., dan Burtschell, Y. 2019. Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete: correlation between rheology and strength. *Journal of Materials Research and Technology*, 1–7.
- BSN. 2004. SNI 15-2049-2004 *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- EFNARC, 2002, *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, Inggris.
- Esfahani, A. R., Reisi, M., dan Mohr, B. 2018. Magnetized Water Effect on Compressive Strength and Dosage of Superplasticizers and Water in Self-Compacting Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(3), 04018008.
- Hatungimana, D., Taşköprü, C., İçhedef, M., Saç, M. M., dan YaZıCı, Ş. (2019). Compressive strength, water absorption, water sorptivity and surface radon exhalation rate of silica fume and fly ash based mortar. *Journal of Building Engineering*, 23, 369–376.
- Hesami, S., Salehi Hikouei, I., dan Emadi, S. A. A. 2016. Mechanical behavior of self-compacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Cleaner Production*, 133, 228–234.

- Jalal, M., Pouladkhan, A., Harandi, O. F., dan Jafari, D. 2015. Comparative study on effects of Class F fly ash, nano silica and silica fume on properties of high performance self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 90–104.
- Khan, M., dan Ali, M. 2016. Use of glass and Nylon fibers in concrete for controlling early age micro cracking in bridge decks. *Construction and Building Materials*, 125, 800–808.
- Lee, S. 2019. Effect of Nylon Fiber Addition on the Performance of Recycled Aggregate Concrete. *Applied Sciences*, 9(4), 767.
- Raymond A, Y., Januarti Jaya, E., dan Triwulan. 2017. Optimizing High Performance Self Compacting Concrete. *MATEC Web of Conferences*, 97, 01027.
- Sadrmomtazi, A., Dolati-Milehsara, S., Lotfi-Omran, O., dan Sadeghi-Nik, A. 2016. The combined effects of waste Polyethylene Terephthalate (PET) particles and pozzolanic materials on the properties of selfcompacting concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2363–2373.