

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

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

Muhammad Rizaldy Abbyu, Fadillawaty Saleh

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. *Self-fiber compacting concrete (SFCC)* merupakan pengembangan dari beton konvensional dengan tambahan serat yang memiliki sifat kecairan yang tinggi sehingga dapat mengisi setiap rongga pada cetakan dengan beratnya sendiri dan dapat memadat dengan sendiri tanpa bantuan *vibrator* dan *compactor*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat *nylon* dan variasi *zeolite* sebagai substitusi semen terhadap pengujian beton segar dan kuat lentur. Pengujian ini menggunakan bahan tambah serat *nylon* dengan kadar 1% dan variasi *zeolite* 0%, 5%, 10%, dan 15% serta *superplasticizer sikament LN* dengan kadar 1,5%. Sifat beton segar diuji dengan pengujian *slump-flow*, *T50*, *v-funnel*, dan *l-box*, hasil pengujian dari empat metode telah memenuhi standar *efnarc*. Pengujian kuat lentur dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari, hasil pengujian kuat lentur optimum didapatkan pada variasi *zeolite* 10% sebesar 4,225 MPa pada umur 28 hari. Penambahan kadar *zeolite* yang lebih tinggi menyebabkan nilai kuat lentur menjadi menurun.

Kata kunci: *self-fiber compacting concrete*, *zeolite*, serat *nylon*, beton segar, dan kuat lentur.

Abstract. *Self-fiber compacting concrete (SFCC)* is the development of conventional concrete with added fibre has a high liquidity can fill every cavity on mold with its own weight and can be solidified by itself without the help of a vibrator and compactor. This research aims to know the influence of nylon fiber additions and variations of the zeolite as a substitution of cement concrete testing against fresh and strong bending. This test uses the added fiber nylon with levels of 1 % and 0 %, 5 %, 10 %, and 15 % variations of zeolite as well as a superplasticizer sikament LN with levels of 1.5%. The properties of the fresh concrete was tested with testing slump-flow, T50, v-funnel, and l-box, the test results from four methods have been standard *efnarc*. The test of flexural strength was carried out at 7, 14, and 28 days, the test results obtained at optimum bending the strong variation of 10 % of the zeolite 4,225 MPa at 28 days of age. The addition of zeolite levels higher value cause strong bending be decreased.

Key words: *self-fiber compacting concrete*, *zeolite*, *nylon fiber*, *fresh properties*, and *flexura strength*.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara berkembang yang saat ini banyak melakukan pembangunan di seluruh daerahnya. Kebanyakan dari pembangunan tersebut menggunakan struktur beton dalam pelaksanaannya. *Compactor* maupun *vibrator* dibutuhkan dilapangan setelah proses pengecoran beton yang berfungsi untuk memadatkan beton agar tidak terbentuk rongga udara didalam beton jika terdapat rongga udara dalam beton maka akan mempengaruhi mutu beton. Kenyataannya tidak di semua tempat di proyek terjangkau oleh *compactor* dan

vibrator. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan digunakan *Self-fiber Compacting Concrete (SFCC)*. *Self-Compacting Concrete (SCC)* merupakan beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir dan mengisi ruang-ruang didalam cetakan tanpa proses pemadatan (Tjaronge, 2006). Beton jenis ini memiliki karakteristik dapat memadat dengan sendiri tanpa menggunakan alat bantu seperti *vibrator* sehingga penggunaan *Self-fiber Compacting Concrete (SFCC)* tidak

memerlukan usaha yang banyak dan mengurangi kebisingan penggunaan *vibrator*.

Girskas dkk. (2016) melakukan penelitian tentang beton dengan bahan tambah *zeolite* sintetis sebagai bahan pengganti semen. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan, massa jenis, penyerapan beton dengan bahan tambah *zeolite* sintetis, dan *air entraining additive*. Nas dan Kurbetci (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *zeolite* sebagai pengganti semen pada campuran beton. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan dan lentur beton dengan penambahan *zeolite* sebagai pengganti semen.

Shi dkk. (2016) melakukan pengujian tentang pengaruh *superplasticizers* asam polikarboksilat (PC), naftalena sulfonat (NS), dan alifatik (AH) terhadap karbonasi beton. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh karbonasi beton dengan penambahan tiga jenis *superplasticizer*. Huang dkk. (2016) melakukan pengujian tentang penambahan *superplasticizer* pada beton. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *polycarboxylate superplasticizer* (PCE) dan *polynaphthalene superplasticizer* (PNS) terhadap daya tahan beton. Pengujian daya tahan beton dilakukan dengan menguji karbonasi beton, impermeabilitas air, dan ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida.

Badogianni dkk. (2015) melakukan pengujian tentang beton *self compacting concrete* dengan bahan tambah metakaolin sebagai pengganti semen. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui tingkat ketahanan beton *self compacting concrete* dievaluasi berdasarkan *sorptivity*, porositas, permeabilitas gas, permeabilitas air, dan ketahanan penetrasi klorida. Iqbal dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai beton *self compacting concrete* dengan tambahan serat baja. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat baja terhadap ketahanan beton *steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete* (SHLSCC).

Lee (2019) melakukan penelitian mengenai beton dengan tambahan serat *nylon* dan agregat daur ulang. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat *nylon* terhadap permeabilitas dan sifat mekanik beton yang menggabungkan agregat daur

ulang. Khan dan Ali (2016) melakukan penelitian tentang penambahan serat gelas dan serat *nylon* untuk mengatasi *micro cracking* usia dini pada dek jembatan. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat kaca dan *nylon* terhadap ketahanan dan *micro cracking* usia dini pada dek jembatan.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi jumlah *zeolite* yang digunakan sebagai bahan substitusi semen dan penambahan serat *nylon* yang tetap yaitu sebesar 1% dari berat semen terhadap kuat lentur beton *self-fiber compacting concrete*.

2. Metode Penelitian

Bahan

Agregat halus (pasir)

Agregat halus (pasir) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng kulon progo. Sifat-sifat mekanik dari pasir yang digunakan terdapat pada Tabel 1.

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/c m ³	1,72
6	Kadar lumpur	%	4,00

Agregat kasar (kerikil)

Agregat kasar (kerikil) yang digunakan dalam penelitian ini 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

Menurut (ASTM, 1985) semen *Portland* didefinisikan sebagai semen *hidraulik* yang dihasilkan dengan menggiling kliner yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen *holcim powermax* (PCC).

Air

Air yang digunakan yaitu air dari laboratorium teknik sipil UMY.

Zeolite

Zeolite adalah mineral dengan struktur kristal aluminasilikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air (Setiadi dan Pertiwi, 2007). *Zeolite* yang digunakan berasal dari Jawa Tengah.

Superplasticizer

Superplasticizer dibutuhkan dalam pembuatan *self-compacting concrete* untuk mempercepat pengerasan beton dan mengurangi kebutuhan air. Penelitian ini menggunakan *sikament LN* zat pereduksi air untuk mempercepat pengerasan beton dan meningkatkan *workability* sesuai dengan (ASTM, 2015). *Superplasticizer* yang digunakan yaitu *sikament LN* dari PT. Sika Indonesia.

Serat

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

Alat

Alat uji fresh properties

Alat uji *fresh properties* 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 digunakan sebagai alat untuk mencampur adukan beton.

Cetakan balok

Cetakan balok digunakan sebagai alat untuk mencetak beton. Cetakan balok yang digunakan berdimensi 15 cm × 15 cm × 60 cm.

Flexural machine test

Flexural machine test adalah alat untuk menguji kuat lentur beton.

Prosedur Pengujian

Pengujian sifat fisik dan mekanik agregat

Pemeriksaan sifat fisik dan sifat mekanik material campuran beton perlu dilakukan untuk memenuhi syarat kelayakan bahan campuran beton.

Mix design

Penelitian ini menggunakan *mix design* yang merupakan pengembangan dari *mix design* pada penelitian Aggarwal dkk, (2008). Mutu rencana yang digunakan 40 MPa dengan nilai *Fas* 0,23. Persentase *zeolite* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. *Mix design* dalam Penelitian ini disajikan pada Tabel 3

Tabel 3 *Mix design* untuk m³

BAHAN (Kg/m ³)	Variasi <i>zeolite</i>			
	0%	5%	10%	15%
Semen	630	598	567	535
Kerikil	729	729	729	729
Pasir merapi	780	780	780	780
<i>Zeolite</i>	-	31.52	63.05	94.57
<i>Nylon</i>	-	6.30	6.30	6.30
<i>Superplasticizer</i>	9.45	9.45	9.45	9.45
<i>Air</i>	175	175	175	175

Pengujian fresh properties beton

Pengujian sifat beton segar dilakukan dengan metode uji *slump flow*, *l-box*, *v-funnel*, dan T50.

Pengujian kuat lentur beton

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

Hasil pembacaan tertinggi 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:

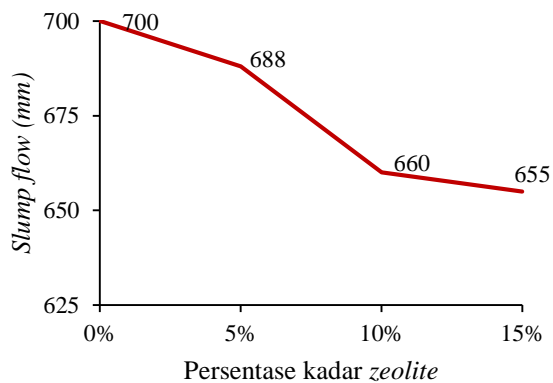
σ_1 : kuat lentur benda uji (MPa),

- 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).

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian *fresh properties* beton

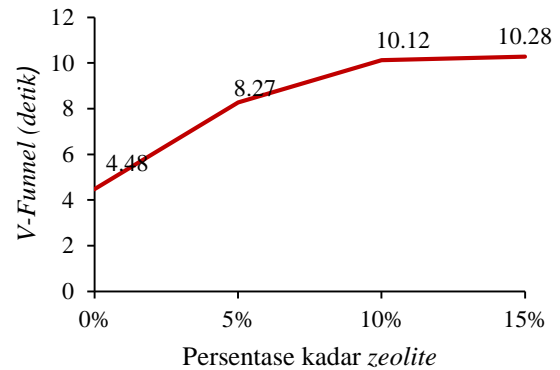
Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui *flowability* salah satunya adalah *slump-flow* yang merupakan pemeriksaan utama bahwa konsistensi beton segar memenuhi spesifikasi. Hasil pengujian *slump flow* dari beton *self-fiber compacting concrete (SFCC)* dengan tambahan *zeolite* variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% secara berturut-turut 700mm, 688mm, 660mm, dan 655mm. Hasil pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Gambar 1 Syarat nilai hasil pengujian *slump-flow* pada *self-fiber compacting concrete (SFCC)* yaitu antara 550 - 850 mm (EFNARC, 2005). Dari hasil yang didapat dinyatakan pengujian *slump flow* sudah memehuni syarat.



Gambar 1 Hubungan hasil uji *slump flow* dan kadar *Zeolite*

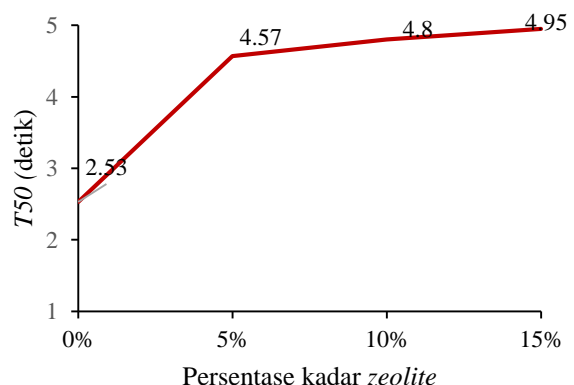
Uji *V-funnel* digunakan untuk menilai viskositas dan *filling ability* beton SCC. Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah corong yang berbentuk V yang dibagian bawah ada pintu yang bisa dibuka dan ditutup. Hasil pengujian *V-funnel* dari beton *self-fiber compacting concrete (SFCC)* dengan tambahan *zeolite* variasi 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % secara berturut-turut 4,48 detik, 8,27 detik, 10,12 detik, dan 10,28 detik. Hasil pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Gambar 2 Menurut EFNARC kriteria campuran beton yang keluar dari corong memiliki durasi

waktu 6 - 12 detik. Dari hasil yang didapat dinyatakan pengujian *V-funnel* sudah memehuni syarat.



Gambar 2 Hubungan hasil uji *v-funnel* dan kadar *Zeolite*

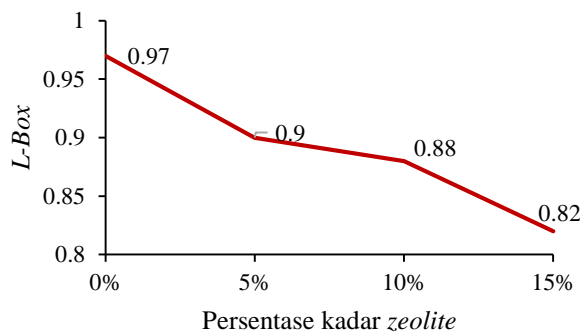
Pengujian T_{50} merupakan pengujian untuk mengetahui *flowability* dan laju aliran pada SCC tanpa ada penghalang, pengujian menggunakan *abrams cone* dan meja sebar T_{50} cm. Proses pengujian dilakukan dengan cara mengisi beton segar kedalam kerucut *abrams* kemudian setelah penuh kerucut diangkat dan dicatat waktunya. Hasil pengujian T_{50} dari beton *self-fiber compacting concrete (SFCC)* dengan tambahan *zeolite* variasi 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % secara berturut-turut 2,53 detik, 4,57 detik, 4,8 detik, dan 4,95 detik. Hasil pengujian T_{50} dapat dilihat pada Gambar 3 Menurut EFNARC memiliki kriteria dengan durasi waktu 2 - 5 detik. Dari hasil yang didapat dinyatakan pengujian T_{50} sudah memehuni syarat.



Gambar 3 Hubungan hasil uji T_{50} dan kadar *Zeolite*

Tes *L-box* digunakan untuk mengukur kemampuan *passing ability* beton SCC untuk mengalir melalui lubang rapat

termasuk ruang antara tulangan penguat dan penghalan lainnya tanpa segregasi. Hasil pengujian *L-box* dari beton *self-fiber compacting concrete (SFCC)* dengan tambahan *zeolite* variasi 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % secara berturut-turut 0,97; 0,9; 0,88; dan 0,82. Hasil pengujian *L-box* dapat dilihat pada Gambar 4 Pada pemeriksaan ini kriteria menurut EFNARC yang dipakai adalah dengan perbandingan h_2/h_1 antara 0,8 – 1. Dari hasil yang didapat dinyatakan pengujian *L-box* sudah memenuhi syarat.



Gambar 4 Hubungan hasil uji *l-box* dan kadar *Zeolite*

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Self Fiber Compacting Concrete

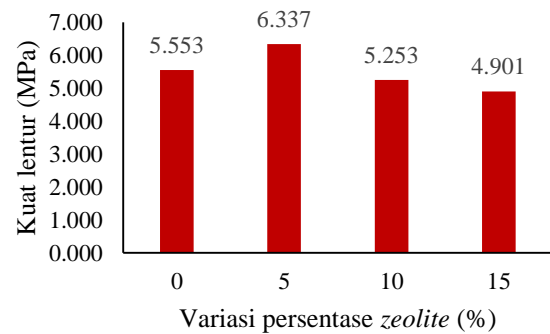
Pengujian kuat lentur beton *self-fiber compacting concrete (SFCC)* dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari. *Zeolite* digunakan sebagai substitusi dengan semen, persentase *zeolite* 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % dari berat semen serta menggunakan bahan tambah serat *nylon* persentase 1 % dan *superplasticizer* jenis *sikament LN* persentase 1,5 % dari berat powder. Hasil uji lentur dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Hasil uji lentur

Kode	Kuat Lentur	Kuat Lentur	Kuat Lentur
	7 hari (MPa)	14 hari (MPa)	28 hari (MPa)
LT 0%ZT	5.346	5.399	5.553
LT 5% ZT	5.694	5.787	6.337
LT 10% ZT	4.655	5.101	5.253
LT 15% ZT	4.877	4.894	4.901

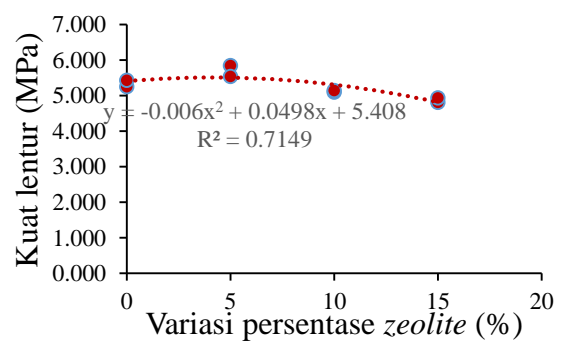
Hubungan kuat lentur dan variasi *zeolite* dari beton *self-fiber compacting concrete (SFCC)* dengan variasi persentase *zeolite* 0%,

5 %, 10 %, dan 15 % serta penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5, beton variasi dari penambahan *zeolite* dalam campuran beton memiliki pengaruh terhadap kekuatan lenturnya, beton dengan persentase *zeolite* 5 % memiliki nilai kuat lentur paling tinggi dan beton dengan persentase *zeolite* 15 % memiliki nilai kuat lentur paling rendah.



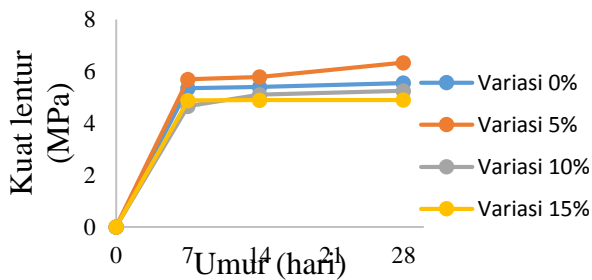
Gambar 5 Hubungan kuat lentur dan variasi persentase *zeolite*

Gambar 6 dengan persamaan $y = -0,006x^2 + 0,0498x + 5,408$, berdasarkan persamaan tersebut dapat diperoleh nilai kuat lentur optimum dari variasi *zeolite* 0 %, 5 %, 10 % dan 15 % yaitu pada variasi 5 % dengan nilai kuat lentur 5,507 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar *zeolite* yang digunakan maka semakin rendah nilai kuat lentur yang didapatkan.



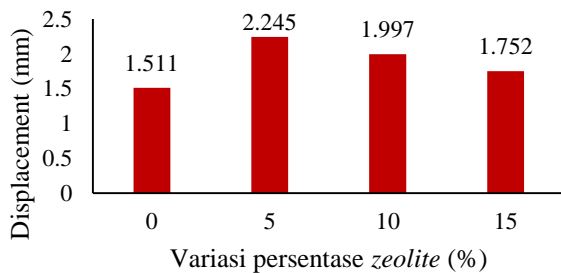
Gambar 6 Hubungan kuat lentur dan variasi persentase *zeolite*

Hubungan antara umur beton dan nilai kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 7, berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa umur beton benda uji mempengaruhi nilai kuat lentur pada semua variasi *zeolite* dan serat *nylon*, semakin bertambahnya umur beton maka semakin tinggi nilai kuat lentur.



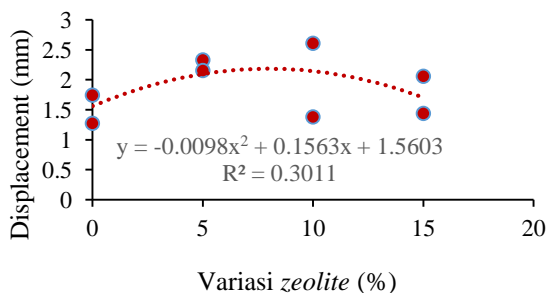
Gambar 7 Hubungan antara nilai kuat lentur dan umur beton

Hubungan antara *displacement* dan variasi *zeolite* beton *self-fiber compacting concrete* (SFCC) dengan variasi persentase *zeolite* 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % serta penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 8, beton dengan variasi *zeolite* 5 % memiliki nilai *displacement* tertinggi dengan nilai 2,245 mm, sedangkan beton tanpa *zeolite* memiliki nilai *displacement* terendah dengan nilai 1,511 mm.



Gambar 8 Hubungan antara *displacement* dan variasi *zeolite*

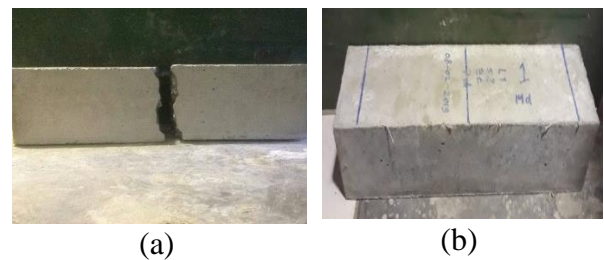
Gambar 9 dengan persamaan $y = -0,0098x^2 + 0,1563x + 1,5603$, berdasarkan persamaan tersebut dapat diperoleh nilai *displacement* optimum dari variasi *zeolite* 0 %, 5 %, 10 % dan 15 % yaitu pada variasi 8 % dengan nilai *displacement* 2,1835 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi variasi *zeolite* yang digunakan maka semakin rendah nilai *displacement*.



Gambar 9 Hubungan antara *displacement* dan variasi *zeolite*

Kondisi fisik benda uji setelah diuji lentur

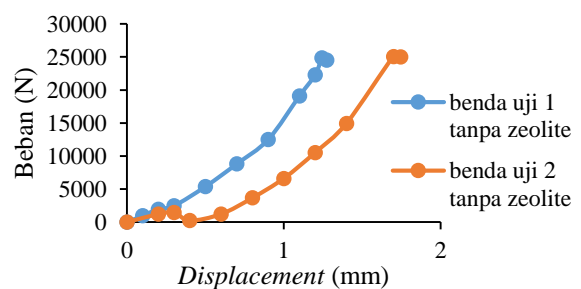
Benda uji yang tidak menggunakan tambahan serat setelah diuji lentur mengalami patah pada tengah bentang dikarenakan beton tidak memiliki daya ikat yang tinggi dan akhirnya mengalami patah seperti pada Gambar 10 (a), benda uji yang menggunakan tambahan serat setelah diuji lentur mengalami retak pada tengah bentang dikarenakan memiliki daya ikat yang tinggi sehingga benda uji tidak patah seperti pada Gambar 10 (b)



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

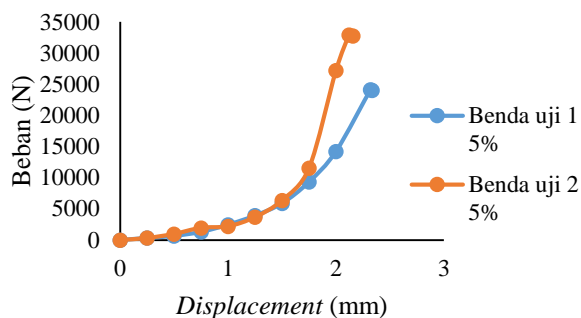
Hubungan antara beban dan displacement

Hubungan antara beban dan *displacement* dari beton *self-fiber compacting concrete* (SFCC) dengan variasi persentase *zeolite* 0 % serta penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 11, dari dua benda uji beton tanpa variasi *zeolite* memiliki nilai *displacement* 1,746 mm.



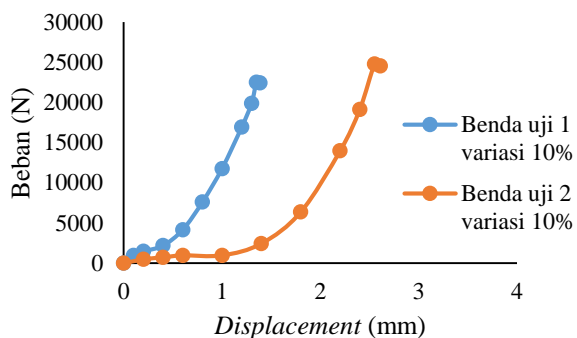
Gambar 11 Hubungan beban dan *displacement* antara variasi 0 %

Hubungan antara beban dan *displacement* dari beton *self-fiber compacting concrete* (SFCC) dengan variasi persentase *zeolite* 5 % serta penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 12, dari dua benda uji beton variasi *zeolite* 5 % memiliki nilai *displacement* 2,334 mm.



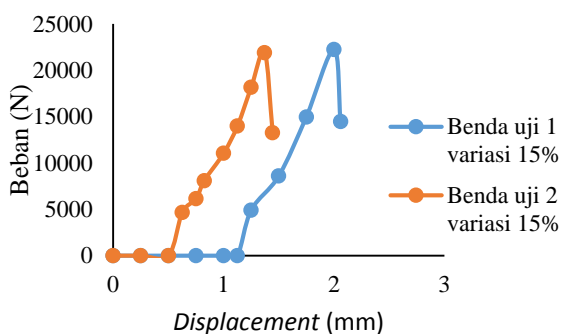
Gambar 12 Hubungan beban dan *displacement* antara variasi 5 %

Hubungan antara beban dan *displacement* dari beton *self fiber compacting concrete* dengan variasi persentase *zeolite* 10% serta penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 13, dari dua benda uji beton dengan variasi *zeolite* 10 % memiliki nilai *displacement* 2,610 mm.



Gambar 13 Hubungan beban dan *displacement* antara variasi 10 %

Hubungan antara beban dan *displacement* dari beton *self fiber compacting concrete* dengan variasi persentase *zeolite* 10% serta penambahan serat *nylon* dan *superplasticizer* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 14, dari dua benda uji beton dengan variasi *zeolite* 15 % memiliki nilai *displacement* 2,060 mm.



Gambar 14 Hubungan beban dan *displacement* antara variasi 15%

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengujian *fresh properties* dan kuat lentur pada *Self Fiber Compacting Concrete* (SFCC) dengan variasi *zeolite* dengan penambahan *superplasticizer* dan serat *nylon* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur yang telah dilakukan, dari empat variasi persentase *zeolite* yang digunakan yang memiliki nilai kuat lentur optimum pada persentase *zeolite* 5 % dengan nilai kuat lentur 6,337MPa
2. Berdasarkan hasil pengujian *fresh properties* yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa seluruh pengujian masuk dalam syarat dan ketentuan yang ada pada EFNARC, 2005.
3. Nilai kuat lentur dengan umur beton berbanding lurus, semakin bertambahnya umur beton semakin bertambah juga nilai kuat lentur.

5. 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.
- Badogiannis, E. G., Sfikas, I. P., Voukia, D. V., Trezos, K. G., dan Tsivilis, S. G. 2015. *Durability of metakaolin Self-Compacting Concrete*. *Construction and Building Materials*, 82, 133–141.
- Carro-López, D., González-Fontebo, B., de Brito, J., Martínez-Abella, F., González-Taboada, I., dan Silva, P. 2015. *Study of the rheology of self-compacting concrete with fine recycled concrete aggregates*. *Construction and Building Materials*, 96, 491–501.
- EFNARC, 2005, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete (Specification, Production and Use)*, Inggris.
- Girskas, G., Skripkiūnas, G., Šahmenko, G., dan Korjakins, A. 2016. *Durability of concrete containing synthetic zeolite from aluminum fluoride production*

- waste as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 117, 99–106.
- Huang, H., Qian, C., Zhao, F., Qu, J., Guo, J., dan Danzinger, M. 2016. *Improvement on microstructure of concrete by polycarboxylate superplasticizer (PCE) and its influence on durability of concrete*. *Construction and Building Materials*, 110, 293–299.
- Iqbal, S., Ali, A., Holschemacher, K., dan Bier, T. A. 2015. *Mechanical properties of steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC)*. *Construction and Building Materials*, 98, 325–333.
- 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.
- Nas, M., dan Kurbetci, S. 2018. *Mechanical, durability and microstructure properties of concrete containing natural zeolite*. *Computers and Concrete*, 22(5), 000-000
- Shi, C., He, T., Zhang, G., Wang, X., dan Hu, Y. 2016. *Effects of superplasticizers on carbonation resistance of concrete*. *Construction and Building Materials*, 108, 48–55.
- Zhang, J., Ding, X., Wang, Q., dan Zheng, X. 2018. *Effective solution for low shrinkage and low permeability of normal strength concrete using calcined zeolite particles*. *Construction and Building Materials*, 160, 57–65.