

**PERBANDINGAN SIFAT MEKANIS ANTARA BETON KONVENSIONAL
DAN BETON MEMADAT SENDIRI
DENGAN PENAMBAHAN SERAT KAWAT BENDRAT**
*Comparative Study of Mechanical Properties
Between Conventional Compacting and Self Compacting Concrete
With Addition of Mild Steel Wire Fiber*

I Nyoman Merdana*, Fathmah Mahmud*

Abstrak

Beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*, SCC) merupakan beton yang mampu mengalir dengan beratnya sendiri tanpa mengalami segregasi dan bleeding. SCC umumnya dibuat dengan agregat kasar berdiameter kecil dan relatif bundar. Proporsi agregat kasar untuk SCC sekitar 30-38% dari volume beton. Karakteristik agregat seperti itu dapat menimbulkan dampak pada sifat mekanis beton yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku sifat mekanis beton konvensional, SCC dan beton serat yang memadat sendiri (*Self Compacting Fibrous Concrete*, SCFC). SCFC mengandung serat kawat bendrat dengan aspek rasio 71. Benda uji untuk tujuan riset ini berupa Silinder beton 150x300mm untuk uji Kuat Tekan, Kuat tarik Belah, Modulus elastisitas dan balok beton 150x150x600mm untuk pengukuran Modulus runtuh. Sedangkan untuk pengukuran Modulus Elastisitas dan poisson rasio digunakan kubus beton 200x200mm dengan menempelkan *Electrical bonded strain gauge*. Dari studi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kekuatan beton SCC dan SCFC meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton. Dari hasil pengujian kuat tarik, bahwa untuk semua jenis beton Modulus runtuh memberikan nilai yang lebih tinggi daripada hasil pengukuran Kuat tarik Belah. Secara umum sifat mekanis beton SCC dan SCFC dapat disamakan dengan beton konvensional dan perumusan Modulus elastisitas E_c dan Poisson ratio μ sebagaimana direkomendasikan SNI masih cukup relevan untuk diterapkan pada SCC dan SCFC.

Kata kunci : Beton memadat sendiri, Beton memadat sendiri berserat bendrat, sifat mekanis

PENDAHULUAN

Pada saat pengecoran beton selalu memerlukan pemadatan dengan tujuan untuk memperoleh beton yang homogen dan padat yang mana pada akhirnya menghasilkan beton yang mempunyai kinerja yang tinggi. Dari pengamatan diberbagai lokasi proyek konstruksi, pekerjaan beton cor ditempat (*in-situ concreting*) seringkali ditemukan hasil pekerjaan beton yang tidak baik sebagai akibat dari pemadatan yang kurang sempurna. Pada saat pemadatan beton segar seringkali alat pemadat mengalami kesulitan atau bahkan tidak dapat samasekali menjangkau bagian-bagian yang sempit. Pemadatan yang kurang sempurna pada bagian-bagian beton yang sulit tadi berpotensi untuk menimbulkan mutu beton yang buruk. Untuk mengatasi kondisi tersebut dapat menggunakan *Self Compacting Concrete* (SCC).

Self compacting concrete merupakan beton yang mana ketika masih dalam keadaan segar mampu mengalir sendiri secara gravitasi melalui celah diantara tulangan dan memenuhi seluruh ruangan yang ada didalam cetakan tanpa adanya bantuan pemadatan mekanis tanpa mengalami segregasi. Perbedaan utama antara beton konvensional dan SCC sebenarnya terletak pada kemampuan beton SCC itu untuk mengalir dan menjadi padat dengan memanfaatkan berat-nya sendiri. Beton SCC terbuat dari agregat kasar ukuran kecil 16-20mm, relatif bundar dan hampir tak mungkin tanpa *superplasticizer*. Porsi agregat kasar pada SCC yang relatif sedikit yaitu hanya sekitar 32-38%

* Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

dari volume beton, berbeda dengan beton konvensional yang mana agregat kasar dominan menempati porsi sekitar 65-70%. Penggunaan agregat kasar yang demikian akan mempengaruhi sifat beton SCC baik dalam keadaan basah ataupun setelah kering. Sifat mekanis yang umumnya mengalami dampak diantaranya seperti karakteristik kuat tekan, kuat tarik, modulus runtuh, modulus elastisitas dan *poisson ratio*. (Desnerck, 2012, Bakhtiyari et.al, 2011). Mengingat karakter SCC yang demikian unik maka perlu kiranya diteliti berkenaan dengan sifat-sifat mekanis SCC tersebut. Riset ini bertujuan untuk membahas perbedaan sifat-sifat mekanis dari beton konvensional dibandingkan dengan beton memadat sendiri, baik tanpa serat dan dengan tambahan serat yang meliputi karakteristik hubungan tegangan-regangan, kuat tekan, kuat tarik belah, modulus runtuh, modulus elastisitas statis dan *poisson ratio* pada berbagai umur beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Memadat Sendiri (SCC)

Berdasarkan dokumen EFNARC, beton memadat sendiri (SCC) dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok, yaitu berdasarkan nilai *slump flow*, viskositas, *passing ability* dan berdasarkan ketahanan segregasi.

Desnerck et.al (2012) melakukan riset pada hubungan tegangan-regangan beton SCC. Disimpulkan bahwa akibat beban beban uniaksial beton SCC memperlihatkan regangan puncak yang lebih besar daripada Beton konvensional. Desnerck melakukan risetnya menggunakan silinder beton dengan rasio $h/d=3,0$. Disamping itu, Arezoumandi (2013) melalui studi dengan silinder 100x200mm menyimpulkan bahwa beton SCC memperlihatkan Karakteristik kuat tekan dan *fracture energy* yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional. Kajian tersebut dilakukan dengan menggunakan komposisi bahan yang sama baik beton konvensional maupun SCC, kecuali pada SCC hanya ditambahkan *superplasticizer* untuk mendapatkan sifat *passing*, *filling* dan *flowability*. Bakhtiyari (2011) melakukan riset SCC tentang *mix design* dan kuat tekan SCC yang di ekspose terhadap temperature 500°C, menggunakan agregat limestone dan quartz. Senada dengan hasil riset Arezoumandi, Bakhtiyari (2011) menyimpulkan bahwa SCC yang dibuat dengan agregat kasar jenis berbeda (yaitu limestone dan quartz) dengan porsi yang sama menghasilkan kuat tekan yang tidak berbeda nyata. Beton SCC yang mengandung serbuk limestone memperlihatkan resiko *spalling* (mengelupas) yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan serbuk quartz akan tetapi kekuatan tekannya menurun dengan meningkatnya temperatur. Bakhtiyari melakukan studinya menggunakan sampel Kubus beton untuk pengujiannya. Dari studi-studi yang telah ada ternyata bentuk benda uji, prosedur pengujian serta *mix design* yang digunakan beragam.

Pembuatan dan tata cara pengujian SCC selama ini banyak sekali variannya baik dari cara perancangan *mix design*, bentuk benda uji, bahkan alat serta prosedur atau tata cara pengujian yang beragam (Lange, 2007; Hadiwidodo, 2008, EFNARC, 2002, Anonim 2005). Kondisi ini tentunya menjadi tantangan tersendiri dalam pembuatan SCC. Dalam riset ini, benda uji untuk sifat mekanis mengadopsi SNI dan ASTM yang relevan sedangkan untuk alat, teknik pengujian dan *mix design* SCC akan merujuk dokumen dari EFNARC mengingat dokumen tersebut paling mudah dan umum dirujuk selama ini.

Beton memadat sendiri seperti halnya beton konvensional memiliki sifat alami yang getas dan untuk mengatasi masalah ini seringkali digunakan serat. Beton serat (*fibrous concrete*) didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari semen portland, agregat dan serat seragam. Serat tersebut dapat dibuat dari bahan alami atau produk buatan seperti gelas, baja, karbon dan polimer. Tujuan dari penggunaan serat ini adalah untuk meningkatkan kuat tarik dan mencegah retakan beton, mengurangi lendutan, meningkatkan kuat *impact* serta mengurangi susut.

Kuat tekan, Modulus E_c dan Poisson rasio

Kuat tekan f'_c merupakan ukuran mutu beton yang paling sering digunakan. Besaran yang lain seperti modulus elastisitas E_c , kuat tarik f_t dan *poisson rasio* μ pada umumnya dikaitkan dengan kuat tekan f'_c . Berdasarkan ASTM C39-05 dan ASTM C469-02 nilai modulus elastisitas statis dan *poisson ratio* μ dapat dihitung dengan persamaan (1) - (3).

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\mu = \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Kuat Tarik Belah dan Modulus Runtuh

Pengujian kuat tarik beton secara langsung (*direct tension*) sangat jarang dilakukan karena beberapa pertimbangan praktis. Kuat tarik beton selama ini diuji secara tidak langsung melalui pengujian kuat tarik split f_t dan kuat tarik lentur f_r sesuai ASTM C496-90 dan C78-84. Kuat tarik belah f_t dan modulus runtuh f_r dapat dihitung masing masing dengan persamaan (4)-(6)

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f_r = \frac{PL}{bh^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

atau

$$f_r = \frac{3Pa}{bh^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

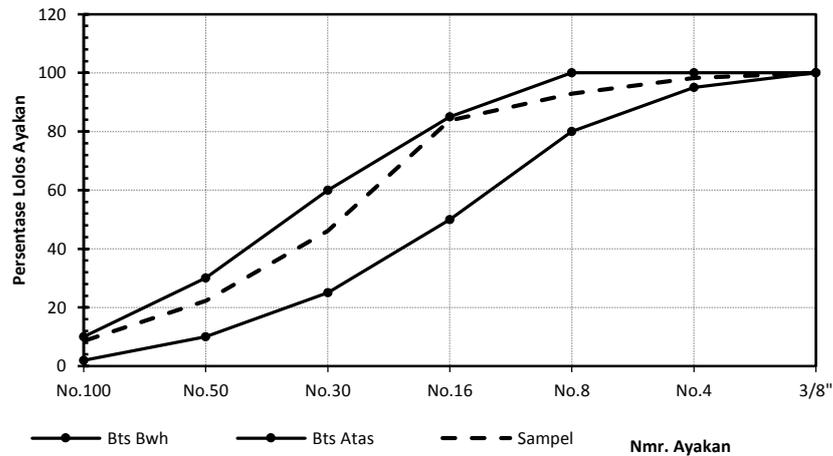
METODE PENELITIAN

Bahan dan pembuatan SCC

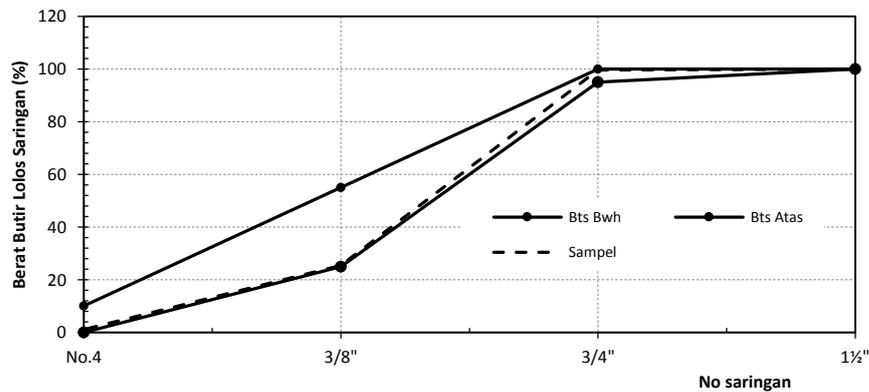
Adapun bahan utama yang digunakan dalam studi ini yaitu semen tipe 1, agregat batu pecah 20mm serta pasir alam. Untuk bahan serat digunakan kawat ikat bendrat dengan aspek rasio (l/d) 71, sedangkan untuk mendapatkan sifat mengalir pada SCC dan SCFC digunakan *superplasticizer* SikaViscocrete 10.

Sebagai agregat halus, pasir yang digunakan termasuk pasir Gradasi II yaitu pasir agak halus dengan MHB=3,48 dan berat satuan lepas rata-rata 1148 kg/m³. Sedangkan untuk agregat kasar mempunyai berat satuan lepas rata-rata 1331 kg/m³ dengan MHB=7,71. Sedangkan berat jenis pasir dan berat jenis kerikil kondisi SSD masing masing sebesar 2,534 dan 2,679. Adapun hasil pengujian

gradasi agregat halus dan agregat kasar untuk pembuatan SCC masing masing dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Hasil Analisa Saringan Agregat Halus (ASTM C33-90 dan ASTM C136-84a)



Gambar 2. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar (ASTM C33-90 dan ASTM C136-84a)

Dengan menggunakan cara coba coba sedemikian rupa agar memenuhi kriteria SCC maka komposisi material beton yang digunakan dalam studi ini sebagai tercantum pada Tabel 1. Sedangkan untuk *mix design* beton konvensional dengan $f_c=0,44$ menggunakan metode SNI. Semua benda uji dirancang mempunyai kuat tekan $f'_c=25\text{MPa}$ pada umur 28 hari.

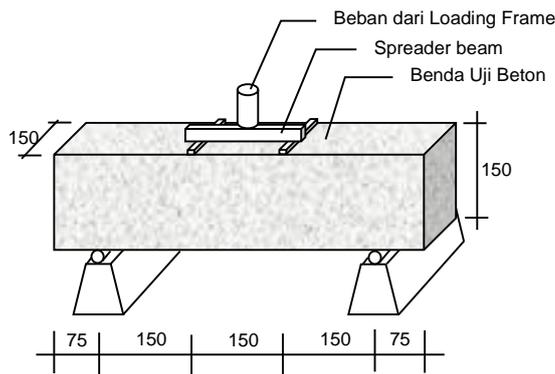
Tabel 1. Kebutuhan bahan untuk berbagai jenis beton ($/\text{m}^3$)

Jenis Beton	PC(kg)	Psr(kg)	Kr (kg)	Air(kg)	SP(kg)	Fiber(kg)
BK	511	713	871	225	-	-
SCC	450	900	450	198	8,1	-
SCFC	450	900	450	198	8,1	59,8

Untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik digunakan Silinder 150x300mm dan balok 150x150x600mm untuk uji kuat lentur yang mana pengujiannya dilakukan pada umur 7, 14, 28 dan 90 hari. Untuk pengukuran regangan beton ϵ , untuk menentukan modulus elastisitas E_c dan *poisson ratio* μ , baik beton SCC, SCFC dan beton konvensional, karena mengingat jenis strain gauge yang tersedia adalah strain gauge jenis standar, maka digunakan kubus beton 200x200mm. Pengukuran regangan beton dilakukan dengan loading rate rata rata 10kN/s yang setara dengan 0,25MPa/s

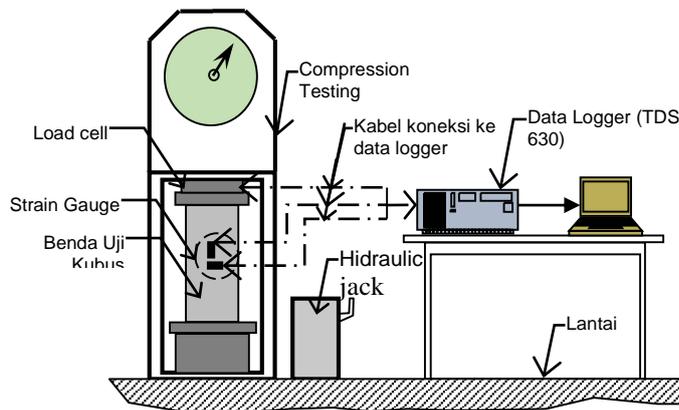
Peralatan dan Setting-up pengujian

Dalam pengujian beton segar SCC dan SCFC digunakan beberapa peralatan utama seperti J-Ring, *Slump-cone* dan Ayakan. Sedangkan untuk pengujian sifat menis beton keras SCC dan beton konvensional digunakan CTM untuk uji kuat tekan f'_c dan Kuat tarik belah f_t , dan bending Test machine untuk pengujian Modulus runtuh f_r . Sedangkan pencatatan data regangan ϵ digunakan *data logger* dan *electrical foil strain gauge* tipe PL-60-11 sebagai sensor dengan pengukuran mode *quarter bridge 1G4W*. Adapun setting up pengujian modulus runtuh f_r dan pencatatan regangan beton masing masing dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Setting-Up Modulus Runtuh f_r

Khusus untuk tujuan pengukuran regangan dengan strain gauge, satu hari sebelum pelaksanaan pengujian benda uji diangkat dari bak perendaman untuk memberikan waktu bagi permukaan beton menjadi kering.



Gambar 4. Setting-Up pengukuran Regangan dengan Load Cell dan Data Logger

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Slump Flow dan Passing ability

Dari hasil pengujian, nilai rata-rata *slump flow* untuk beton SCC diperoleh diameter slump 696mm dan *flow time* rata-rata T_{500} sebesar 2,0 detik. Sedangkan untuk beton SCFC nilai rata-rata *slump flow* dan rata-rata waktu T_{500} masing masing adalah 681mm dan 1,65 detik. Nampak bahwa dengan adanya

penambahan kawat bendrat menurunkan nilai *slump flow* dan T500 time; hal ini karena serat menghalangi pergerakan aliran beton.

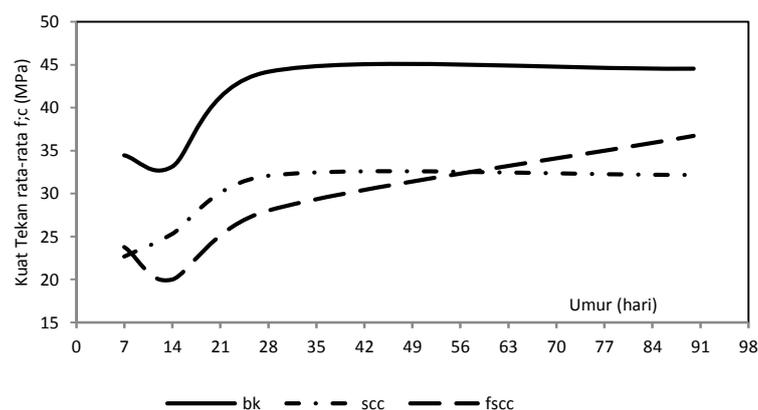
Pengujian *passing ability* dilakukan dengan alat J-ring test sesuai EFNARC. Hasil pengujian J-ring test untuk beton SCC berupa diameter rata-rata penyebaran beton SJ atau *slump flow* (concrete spread diameter) sebesar 66,5cm dengan nilai rata-rata step height $ST_j=2,36$ cm dan rata-rata flow time T_{500} sebesar 2,90 detik. Sedangkan untuk beton SCFC diperoleh nilai *slump flow* diameter SJ, rata-rata step height ST_j dan flow time T_{500} masing-masing sebesar 68,8cm, 3,9cm dan 2,97detik. Untuk beton SCC, pengamatan secara visual tidak memperlihatkan kemungkinnan terjadinya segregasi ataupun *blocking*. Namun untuk beton SCFC, terjadi penumpukan massa agregat sehingga beton menjadi tidak homogen yang mana hal ini disebabkan karena viskositas campuran yang terlalu rendah.

Pengujian Sifat Mekanis beton keras

Pengujian sifat mekanis betos keras dilakukan terhadap beton konvensional (BK), beton memadat sendiri (SCC) dan beton memadat sendiri dengan serat (SCFC) adalah uji kuat tekan f'_c , kuat tarik f_t , modulus runtuh f_r dan modulus elastisitas statis E_c .

Pada penelitian ini modulus elastisitas statis E_c dan hubungan tegangan σ vs regangan beton ϵ diuji dengan sampel beton kubus 20x20cm pada umur 28 dan 90 hari dengan *loading rate* 1,25MPa/s. Adapun strain gauge yang dipasang pada setiap benda uji kubus 200x200 yaitu dua buah, masing-masing untuk pengukuran regangan memanjang dan regangan transversal. Adapun hasil pengujian kuat tekan, tarik dan hubungan tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 7-Gambar 11.

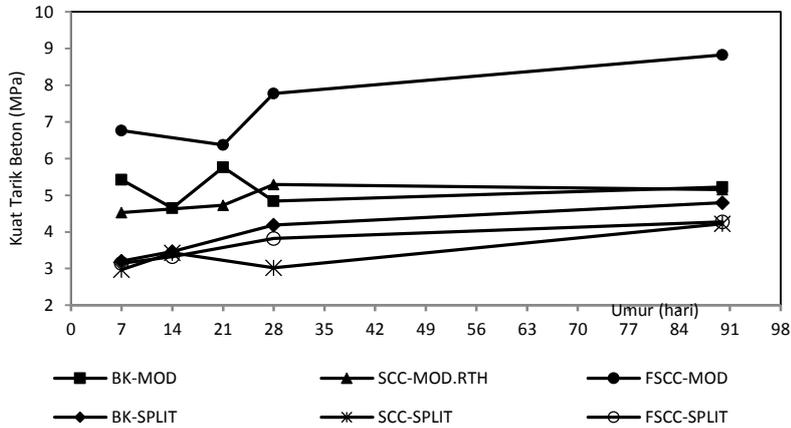
Dari hasil pengujian kuat tekan dapat diketahui bahwa beton konvensional menghasilkan kuat tekan tertinggi disusul oleh SCC dan SCFC. Dari Gambar 5 juga dapat dilihat bahwa kekuatan beton meningkat seiring dengan peningkatan umur beton. Secara umum, penambahan serat terhadap beton SCC tidak mampu meningkatkan kekuatan tekan, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5. Kuat tekan SCFC lebih rendah dari kuat tekan SCC, hal ini diduga karena saat pencampuran beton segar SCFC terlihat secara visual gejala *Blocking* yang mana menimbulkan beton yang tak homogen.



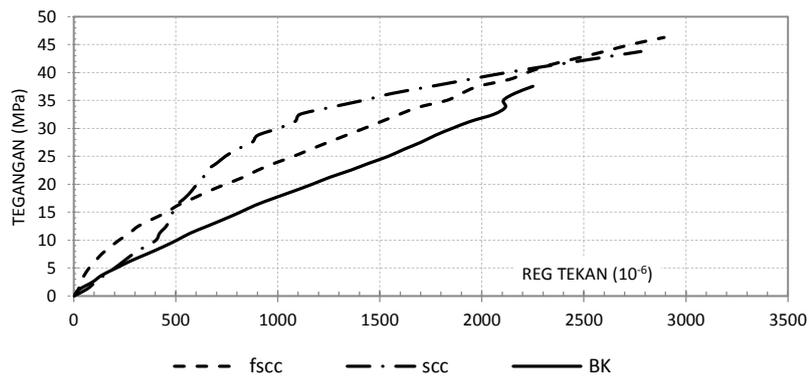
Gambar 5. Variasi berbagai kuat tekan berdasarkan umur

Hasil pengujian kuat tarik belah dan modulus runtuh dapat dilihat pada Gambar 6. Dari Gambar 6 tersebut dapat diketahui bahwa untuk semua jenis beton nilai kuat tarik dari pengukuran modulus runtuh f_r lebih tinggi daripada hasil pengukuran kuat tarik belah f_t . Secara umum kuat tarik beton f_t dan f_r tidak mengalami peningkatan yang signifikan dengan bertambahnya umur beton.

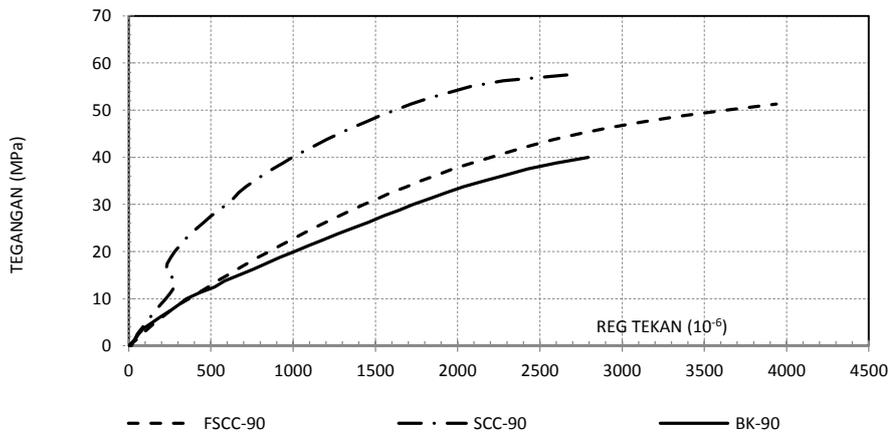
Hubungan tegangan vs regangan untuk berbagai jenis beton dapat dilihat pada Gambar 7- Gambar 11. Secara umum perilaku sifat mekanis SCC dan SCFC dapat disamakan dengan beton konvensional. Dari Gambar 8-11 dapat juga diketahui bahwa hubungan Tegangan vs Regangan BK, SCC dan SCFC secara umum tidak berubah dengan bertambahnya umur beton. Hal menarik bahwa pada umur 90 hari SCC dan SCFC memberikan kekuatan dan Hubungan tegangan vs regangan yang lebih curam yang mana mengakibatkan E_c yang lebih besar.



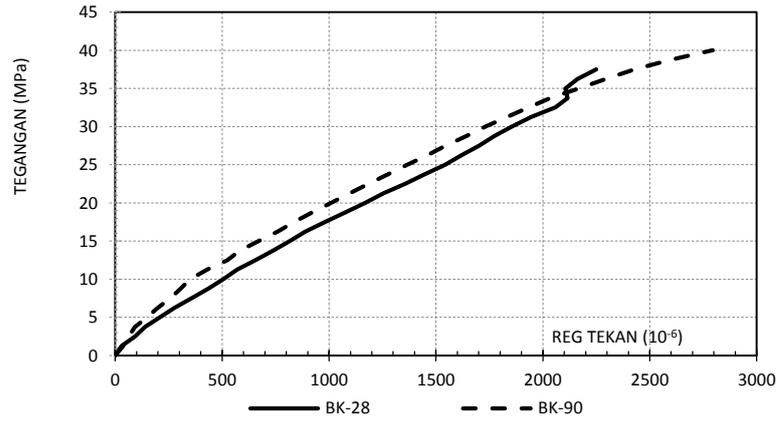
Gambar 6. Kuat Tarik Belah f_t dan Modulus Runtuh Berbagai Jenis beton dan Umur



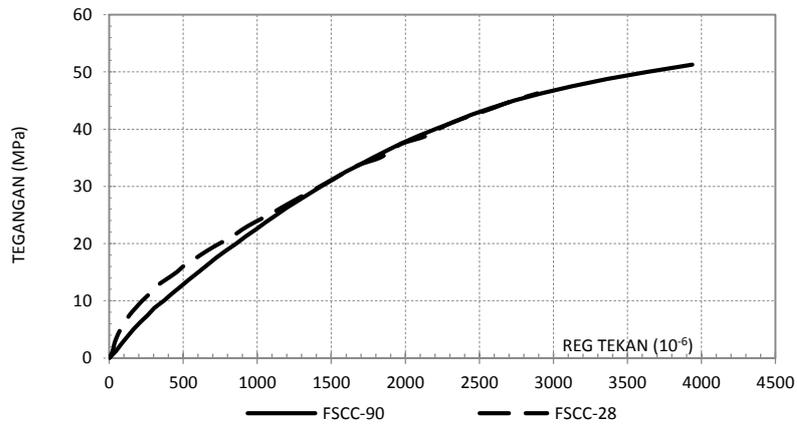
Gambar 7. Hubungan Tegangan vs Regangan Beton pada Umur 28 hari



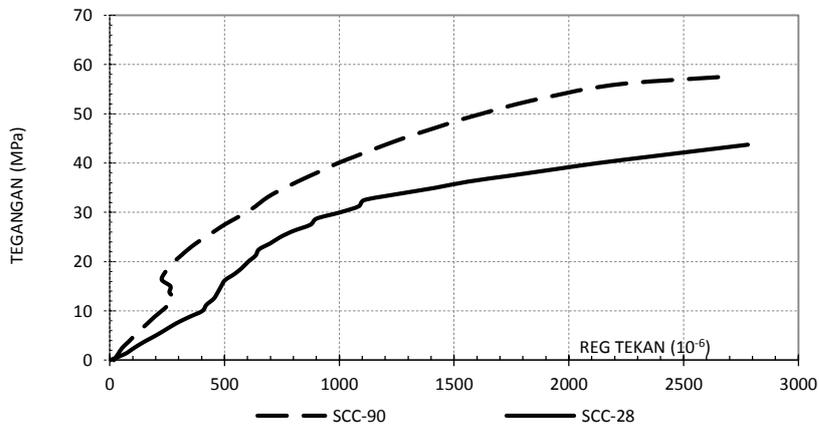
Gambar 8. Hubungan Tegangan vs Regangan Beton pada Umur 90 hari



Gambar 9. Perbandingan Kurva Teg. vs Reg. Beton Konvensional (28 dan 90 hari)



Gambar 10. Perbandingan Kurva Teg. vs Reg. SCFC (28 dan 90 hari)



Gambar 11. Perbandingan Kurva Teg. vs Reg. SCC (28 dan 90 hari)

Hasil pengukuran E_k dan *poisson ratio* μ_k yaitu masing masing modulus elastisitas dan *poisson ratio* hasil dari pengukuran dengan benda uji kubus 200x200mm dengan persamaan 2 dan 3 pada daerah elastis (40% f_c) dan umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai E_c dan μ

JENIS BETON	$E_{ceksp.}(MPa)$	$E_c (SNI)(MPa)$	μ_{eksp}
BK	33.168	31.760	0,30
SCC	33.170	31.812	0,33
FSCC	24.560	32.167	0,47

Dari hasil tersebut dapat menjadi indikasi bahwa persamaan E_c dan Poisson ratio μ yang dirumuskan SNI masih relevan untuk SCC dan SCFC.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kekuatan beton meningkat seiring dengan peningkatan umur beton. Secara umum, penambahan serat terhadap beton SCC tidak mampu meningkatkan kekuatan tekan. Untuk semua jenis beton yang diuji, nilai kuat tarik dari pengukuran modulus runtuh f_r lebih tinggi daripada hasil pengukuran kuat tarik belah f_t . Kuat tarik beton f_t dan f_r tidak mengalami peningkatan yang signifikan dengan bertambahnya umur beton. Secara umum perilaku sifat mekanis SCC dan SCFC dapat disamakan dengan beton konvensional. Persamaan E_c dan *poisson ratio* μ rekomendasi SNI masih cukup relevan untuk diterapkan pada SCC dan SCFC.

UCAPAN TERIMAKASIH

Artikel ini merupakan bagian dari Luaran Hibah riset Hibah Bersaing dengan kontrak No. 41.X/SPP-HB/UN18.12/PL/2015. Penulis menyampaikan penghargaan dan terimakasih sebanyak banyaknya kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Dikti Kemenristekdikti atas bantuan pendanaan riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2005, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*; Specification, Production and Use. The Self-Compacting Concrete European Project Group.
- Arezoumandi, M., Ezzell M., Volz J.S., 2013, *A comparative study of the Fracture behavior, Creep, and Shrinkage of Chemically Based Self-Consolidating Concrete*, *Front. Struct. Civ. Eng.*, 8(1): 36–45, Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- ASTM C469-02 *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, Annual Book of ASTM Standards, USA
- Bakhtiyari, S., Allahverdi, A., Ghasemi, M.R., Ramezani-pour, A.A., Parhizkar, T., Zarrabi, B.A., 2011, *Mix Design, Compressive Strength And Resistance To Elevated Temperature (500°C) Of Self-Compacting Concretes Containing Limestone And Quartz Filler*, *International Journal of Civil Eng.*, Vol. 9 No.3 Sept 2011
- Desnerck, P., De Schutter, G., Taerwe, L., 2012, *Stress-strain behaviour of Self-Compacting Concretes Containing Limestone Fillers*. *Structural Concrete*, 13: 95–101. doi: 10.1002/suco.201100056
- EFNARC, 2002, *Specification and Guideline for Self Compacting Concrete*, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK
- Hadiwidodo, Y.S., Mohd, S., 2008, *Review of Testing Methods for Self Compacting Concrete*, International Conference on Construction and Building Technology, ICBT 2008-A-05 pp 69-82.
- Lange, D.A. (Editor), 2007, *Self Compacting Concrete*, The Center of Advanced Cement Based Material, White papers (ACBM White papers)
- SNI 03-2847-2002, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S- 2002)* (Penyusun penjelasan oleh Prof Rachmat Purwono dan kawan-kawan), ITS-Press, Surabaya