

**APLIKASI BETON SCC (SELF COMPACTING CONCRETE)
PADA SAMBUNGAN BALOK-KOLOM AKIBAT BEBAN VERTIKAL**
*Application of SCC Concrete (Self Compacting Concrete)
on Beam-Column Connection under Vertical Loading*

Hafiz Hamdani*, Ni Nyoman Kencanawati**, Akmaluddin**

* PT. Profys Bangun Persada, Jl. Mandalika Kuta Kab. Lombok Tengah

** Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit 62 Mataram
email : hamdaniafis@gmail.com, nkencanawati@unram.ac.id, akmaluddin@unram.ac.id

Abstrak

SCC (Self Compacting Concrete) adalah beton yang mampu memadat sendiri dengan slump yang cukup tinggi. SCC mempunyai flowability yang tinggi sehingga mampu mengalir, memenuhi bekisting serta memadat dengan sendirinya. Kegagalan struktur yang pada umumnya terjadi pada sambungan balok-kolom terjadi akibat lemahnya kemampuan menahan geser dan rendahnya daktilitas. Kesulitan campuran beton masuk ke bagian sambungan dengan sempurna mengisi jarak pembesian yang sempit, menjadi ide pokok pengaplikasian beton SCC pada sambungan balok-kolom dengan memanfaatkan flowability yang tinggi. Benda uji yang digunakan adalah beton silinder dengan dimensi diameter 15 cm; tinggi 30 cm dan beton sambungan balok-kolom berpenampang persegi dengan dimensi 20x20x125 cm untuk kolom; 20x25x100 cm untuk balok. Selain itu untuk tulangan tarik pada balok divariasikan menjadi 3 variasi penulangan, yaitu 2D13, 2D16 dan 4D16. Dengan nilai FAS 0,44 untuk beton SCC dan normal, dilakukan peninjauan terhadap kuat tekan; keseragaman beton; dan perilaku beton terhadap gaya vertikal pada sambungan balok-kolom. Pengujian yang digunakan adalah CTM (Compression Test Machine) pada beton silinder, uji hammer beton silinder dan beton sambungan balok-kolom yang dibagi menjadi beberapa segmen pengujian, serta uji struktur dengan alat bantu set frame yang dilengkapi dengan load cell untuk pemberian beban serta LVDT untuk merekam displacement yang terjadi pada balok saat diberikan beban maksimum. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan rasio kuat tekan beton normal pada nilai FAS yang sama lebih besar 21% dibandingkan dengan rasio kuat tekan beton SCC. Nilai pantul yang dihasilkan pada benda uji sambungan balok-kolom relatif sama di setiap segmen. Beton normal memiliki displacement yang lebih kecil dari beton SCC yang dapat dilihat dari nilai displacement beton normal yang lebih kecil dibandingkan dengan beton SCC (BKN 0.6; 47,42 < BKS 0.6; 70,54). Nilai regangan pada besar beban yang sama lebih besar dimiliki oleh beton SCC (BKN 0.6; 0,00139 < BKS 0.6; 0,00268), modulus elastisitas beton SCC lebih kecil dari beton normal (28066,37 MPa < 29263,30 MPa), sehingga beton SCC lebih mudah untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. Berdasarkan nilai regangan pada kedua jenis benda uji sambungan balok-kolom yang belum mencapai nilai maksimum regangan beton (0,003) pada saat runtuh, maka jenis keruntuhan yang terjadi adalah over-reinforced. Rasio beban retak pertama hasil experimental (P_{cr}) terhadap beban retak teoritis berturut-turut untuk benda uji BKN 0.6 dan BKS 0.6 adalah 1,291 dan 0,948. Rasio momen ultimit experimental terhadap momen ultimit hasil perhitungan berdasarkan teori berturut-turut untuk benda uji BKN 0.6 dan BKS 0.6 adalah 1,73 dan 1,52..

Kata kunci : Beton SCC, Uji CTM, Uji hammer, Beban retak, Displacement

PENDAHULUAN

Pada umumnya kegagalan struktur banyak disebabkan oleh sambungan balok-kolom yang diakibatkan karena lemahnya kemampuan menahan geser dan rendahnya daktilitas yang direncanakan. Sambungan balok - kolom merupakan bagian penting pada struktur bangunan gedung bertingkat. Beberapa dekade terakhir, penelitian intensif dalam bidang rekayasa struktur telah memberikan pemahaman yang baik terhadap perilaku struktur khususnya perilaku struktur beton bertulang akibat beban lentur maupun geser (Anggraini, dkk, 2016) .

Beton adalah suatu material yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan bila diperlukan. Pada umumnya beton normal banyak digunakan dalam proses konstruksi karena proses pembuatannya yang relatif mudah dan juga dinilai lebih ekonomis. Namun, tidak jarang dijumpai kendala dalam proses pengecoran beton normal yaitu terjadi pemisahan antara agregat halus, semen, dan air dengan agregat kasar (*segregasi*) yang dikarenakan jarak antar tulangan terlalu rapat. Oleh karena itu dalam perkembangannya, beton normal terus mengalami perubahan yang disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi yang ada. Salah satunya adalah dengan dikembangkannya beton SCC (*Self Compacting Concrete*).

SCC (*Self Compacting Concrete*) merupakan beton yang mampu memadat sendiri dengan slump yang cukup tinggi. Dalam proses penempatan pada volume bekisting (*placing*) dan proses pemadatannya (*compaction*), SCC tidak memerlukan proses penggetaran seperti pada beton normal. SCC mempunyai *flowability* yang tinggi sehingga mampu mengalir, memenuhi bekisting, dan mencapai kepadatan tertingginya sendiri (EFNARC 2005). Beton SCC (*Self Compacting Concrete*) pertama kali dikembangkan di Jepang pada pertengahan tahun 1980-an dan mulai digunakan pada konstruksi beton pada awal tahun 1990-an (Okamura et.al. 2003). Berbeda dengan di Jepang, SCC di Indonesia masih belum berkembang pesat. Pengembangan SCC di Indonesia masih terbatas pada metode uji coba *mix design* yang akan digunakan pada beton tersebut. Salah satu bahan kimia yang mempengaruhi kemampuan SCC untuk mengalir adalah *superplasticizer*. Dosis *superplasticizer*, jenis semen, komposisi *mix design* beton menentukan kemampuan *superplasticizer* untuk melakukan reaksi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk Mengetahui kuat tekan beton SCC (*Self Compacting Concrete*), mengevaluasi nilai pantul pada segmen beton SCC, dan mengetahui perilaku struktur yang terjadi pada beton SCC. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram. Pengujian yang dilakukan adalah uji tekan pada beton silinder dengan dimensi tinggi 30 cm dan diameter 15 cm, *hammer test* pada beton silinder dan sambungan balok-kolom, serta pengujian struktur pada sambungan balok kolom. Kuat tekan yang direncanakan adalah 25 MPa.

TINJAUAN PUSTAKA

Abrar dkk (2015) pada penelitiannya tentang kuat lentur balok pada sambungan balok-kolom beton bertulang dengan 3 variasi rasio penulangan, yaitu 0.0059 , 0.0087 dan 0.0147. Dari hasil penelitiannya didapatkan hasil bahwa semakin besar rasio tulangan maka semakin kuat balok menahan beban dan semakin kecil perpindahan yang terjadi.

Citrakusuma (2012) pada penelitiannya tentang uji kuat tekan SCC dengan penambahan *superplasticizer* yang bervariasi didapat hasil bahwa pengujian pada saat beton segar, variasi *superplasticizer* yaitu 1,2%, 1,3%, 1,4%, 1,5% dan 1,6% memenuhi persyaratan yang ditetapkan SCC. Bahan tambahan berupa *superplasticizer viscocrete10* dapat berfungsi sebagai *high water reducer* dan pada pengujian kuat tekan di umur 14 hari. Penambahan *superplasticizer* 1,6% menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi.

Akmaluddin (2011) dalam penelitiannya tentang pengaruh rasio tulangan pada momen efektif inersia balok beton ringan bertulang untuk perhitungan defleksi jangka pendek dengan benda uji balok penampang persegi 150x250 mm dan variasi rasio tulangan 0.72, 1.08 dan 1.80, digambarkan grafik

hubungan antara momen dan lendutan untuk menganalisa momen crack (M_{cr}), momen leleh baja (M_y) dan momen ultimit (M_u). Penelitian tersebut menghasilkan semakin besarnya rasio tulangan, semakin besar juga nilai momen crack yang dihasilkan. Dengan begitu rasio tulangan berpengaruh pada momen efektif inersia balok beton ringan bertulang.

Modulus Elastisitas Beton

Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan (Maria, 2008). Modulus Elastisitas adalah sebuah konstanta bahan yang memiliki nilai tertentu untuk bahan tertentu. Semakin kecil modulus elastisitas sebuah benda, maka akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. Begitu pula sebaliknya, semakin besar modulus elastisitas sebuah benda, maka akan semakin sulit bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 8.5 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E = w_c^{1.5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \quad \dots \dots \dots (1)$$

dengan, E_c = modulus elastisitas beton (MPa), w_c = berat isi beton, f'_c = kuat tekan beton (MPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1440 dan 2560 kg/m³. Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi \pm 2,3 ton/m³ dapat digunakan nilai sebagai berikut:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad \dots \dots \dots (2)$$

dengan, E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa), f'_c = kuat tekan beton (Mpa)

Modulus Runtuh dan Beban Retak

Kuat tarik beton merepresentasikan modulus runtuh (f_r). Untuk beton normal nilai f_r ditentukan sebagai Persamaan (2-4) berikut ini.

$$f_r = 0.62 \sqrt{f'_c} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Bila tegangan yang terjadi melampaui tegangan tarik beton (kuat tarik) maka beton akan mengalami retak. Dengan kata lain bila beban (momen) yang bekerja melampaui beban (momen) retak, maka penampang beton mengalami retak. Momen retak pertama dapat dihitung dengan Persamaan 4.

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad \dots \dots \dots (4)$$

dengan I_g adalah momen inersia penampang utuh tanpa tulangan dan $y_t = 1/2 h$.

Dalam kasus benda uji ini diketahui bahwa untuk bagian balok,

$$M = PL \text{ atau } M_{cr} = P_{cr} L \quad \dots \dots \dots (5)$$

Sehingga beban yang menyebabkan retak pertama pada balok dapat diprediksi menggunakan :

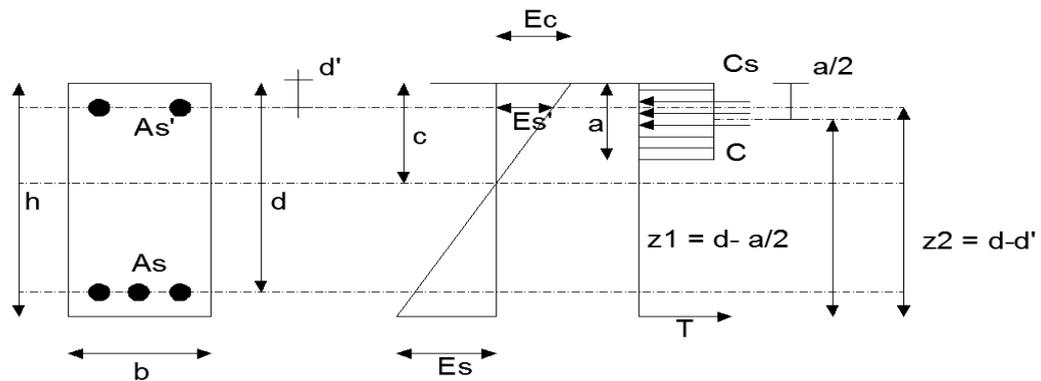
$$P > P_{cr} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$P > \frac{0.62\sqrt{f'_c} bh^2}{6L} \dots\dots\dots (7)$$

dimana *b* adalah lebar badan balok, *h* adalah tinggi penampang balok dan *L* adalah panjang bersih balok kantilever.

Momen Lentur Balok

Dalam analisis dan perencanaan balok tulangan rangkap, kekuatan nominal penampang beton bertulang dianggap sebagai akumulasi dua momen kopel internal yang bekerja akibat adanya komponen gaya horizontal pada baja tulangan Tarik (T), gaya tekan pada blok tegangan tekan ekuivalen beton (C) dan gaya tekan pada baja tulangan tekan (Cs) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1,



Gambar 1. Distribusi tegangan dan regangan balok persegi bertulang rangkap

Komponen pertama adalah momen kopel internal yang dibentuk oleh gaya Tarik (T) pada bagian tulangan tarik seluas $As_1 = As - As'$ dan gaya tekan pada blok diagram tegangan tekan beton ekuivalen (C) dengan panjang lengan momen $z_1 = d - a/2$.

Komponen kedua adalah momen kopel internal yang dibentuk oleh gaya tekan pada bagian tulangan tekan seluas As' dan gaya tarik pada baja tulangan tarik (T) seluas $As_2 = As' = As - As_1$, dengan panjang lengan momen $z_2 = d - d'$.

Kapasitas nominal penampang dapat dihitung sebagai jumlah antara komponen momen kopel pertama dan kedua, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 \dots\dots\dots (8)$$

$$Mn_1 = (As - As').fy(d - a/2) \dots\dots\dots (9)$$

$$a = \frac{(As - As').fy}{(0.85.f'_c.b)} \dots\dots\dots (10)$$

$$Mn_2 = As'.fy(d - d') \dots\dots\dots (11)$$

Sehingga kapasitas nominal penampang juga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Mn = (As - As').fy(d - a/2) + As'.fy(d - d') \dots\dots\dots (12)$$

Persamaan di atas hanya dapat diberlakukan apabila tulangan tekan (As') telah meleleh, jika tegangan leleh belum dicapai maka balok dianggap sebagai balok bertulangan tunggal. Apabila baja tulangan tekan leleh maka,

$$(\rho - \rho') \geq \left(\frac{0.85.\beta_1.f'_c.d'}{fy.d} \right) \left(\frac{600}{600 - fy} \right) \dots\dots\dots (13)$$

Jika tulangan tekan (A_s') belum leleh maka tegangan aktualnya dapat dihitung sebesar,

$$f_s' = 600 \left(1 - \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d} \right) < f_y \quad \dots\dots\dots (14)$$

Nilai f_s' ini dapat digunakan untuk pendekatan awal terhadap control regangan untuk keadaan tulangan tekan belum leleh. Untuk menjamin perilaku daktail pada balok beton bertulang, rasio penulangan maksimum yang diijinkan untuk balok bertulang rangkap ditetapkan sebesar:

$$\rho \leq 0,75 \cdot \bar{\rho} + \rho \frac{f_s'}{f_y} \quad \dots\dots\dots (15)$$

Apabila tulangan tekan (A_s') belum leleh maka tinggi blok tegangan tekan ekuivalen harus dihitung menggunakan tegangan aktual pada tulangan tekan yang diperoleh dari regangan tulangan tekan (ϵ_s), sehingga:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Dengan demikian kapasitas momen nominal pada persamaan (2-18) berubah menjadi:

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s') \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_s' (d - d') \quad \dots\dots\dots (17)$$

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu dengan melakukan percobaan secara langsung terhadap benda uji (destruktif dan non-destruktif). Ada tiga macam pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain: uji tekan (destruktif), uji *hammer* (non-destruktif) dan uji struktur dengan alat bantu *set frame* dengan *hidraulyc jack*, *load cell* dan LVDT.

Untuk variasi benda uji serta kebutuhannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah kebutuhan benda uji

Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Tulangan Kolom	Tulangan Balok		Tulangan Senggang
			Tulangan Tekan	Tulangan Tarik	
BN	3	-	-	-	-
BS	3	-	-	-	-
BKN 0.6	1	4 D 16	2 D 10	2D13	Ø 10 - 100
BKS 0.6	1	4 D 16	2 D 10	2D13	Ø 10 - 100

Set Up Benda Uji

Untuk *set up* benda uji pada penelitian dilakukan pada *set frame* dengan alat bantu LVDT. Pada Gambar 2 dapat dilihat *set up* pengujian pada penelitian ini.



Gambar 2. *Set Up* pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Sebelum membuat benda uji dilakukan pemeriksaan bahan untuk memastikan tercapainya *mix design* yang sudah direncanakan sebelumnya. Hasil pemeriksaan bahan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan bahan

Pemeriksaan Bahan	Hasil Pemeriksaan Bahan
Berat satuan pasir	
a. Berat satuan lepas	1,304 gram/cm ³
b. Berat satuan padat	1,490 gram/cm ³
Berat satuan batu pecah	
a. Berat satuan lepas	1,360 gram/cm ³
b. Berat satuan padat	1,453 gram/cm ³
Modulus halus butiran (MHB) pasir	3,130
Modulus halus butiran (MHB) batu pecah	6,803
Kandungan lumpur dalam pasir	3,075%
Berat jenis pasir, SSD	2,558
Berat jenis batu pecah, SSD	2,692

Mix Design

Perencanaan campuran dalam penelitian ini menggunakan metode *trial and error* dengan kuat tekan rencana 25 MPa. Metode *trial and error* dilakukan karena belum adanya acuan untuk SCC. Dari hasil *trial and error* diperoleh perbandingan adukan beton SCC dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% adalah 450 kg semen : 789,75 kg pasir : 965,25 kg batu pecah : 200 liter air. Untuk adukan beton normal menggunakan komposisi campuran 510 kg semen : 922,2 kg pasir : 667,8 kg batu pecah : 225 liter air

Pengujian SCC

Untuk memastikan beton yang dibuat sudah memenuhi syarat sebagai beton SCC, maka perlu dilakukan pengujian beton segar. Adapun pengujian tersebut antara lain: *slump flow spread*, *slump time (t50)*, *j-ring test*, *j-ring time*, *j-ring height* dan *sieved stability test*.

Hasil pengujian beton segar SCC dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian beton segar SCC

Pengujian	Syarat	Hasil Rata-rata
<i>Slump flow spread</i>	65-80 cm	68,2 cm
<i>Slump time (t50)</i>	2-5 dt	2,6 dt
<i>J-ring test</i>	60-80 cm	63,5 cm
<i>J-ring height</i>	0-1 cm	1,1 cm
		0,9 cm
		1,15 cm
<i>J-ring time</i>	2-5 dt	4,1 dt
<i>Sieved stability test</i>	< 20%	14,46%

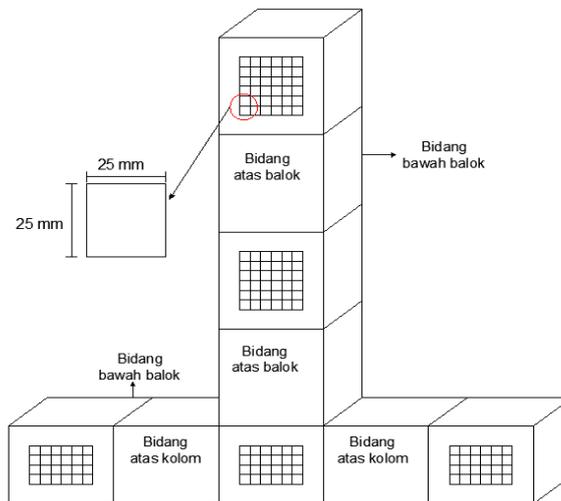
Dan pada Gambar 3 diperlihatkan hasil *running* saat pengujian *slump flow spread*,



Gambar 3. Hasil pengujian *slump flow spread*

Uji *Hammer*

Uji *Hammer* dilakukan pada benda uji beton silinder dan sambungan balok-kolom yang dibagi menjadi beberapa segmen. Untuk pembagian segman. Untuk titik pengujian *hammer* pada benda uji sambungan balok-kolom dan beton silinder dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5 berikut,



Gambar 4. Titik uji *hammer* pada setiap segmen



Gambar 5. Uji *hammer* pada silinder beton

Untuk hasil uji *hammer* disajikan pada Tabel 4 dan 5 berikut,

Tabel 4. Hasil uji *hammer* beton normal dan SCC

Benda Uji	Sampel	Nilai Pantul (R)		Rerata
		Atas	Bawah	
BN	Silinder 1	28	33	31
	Silinder 2	29	32	31
	Silinder 3	28	33	31
BS	Silinder 1	27	31	29
	Silinder 2	27	30	29
	Silinder 3	28	31	30

Tabel 5. Hasil uji *hammer* beton normal dan SCC pada setiap segmen sambungan balok-kolom

No.	Benda Uji	Section Properties	Nilai Pantul		
			Atas	Bawah	Rata-rata
1	BKN 0.6	Ujung Balok	29	36	33
		Tengah Balok	29	33	31
		Joint Balok-Kolom	29	33	31
		Kolom	30	30	30
2	BKS 0.6	Ujung Balok	26	35	30
		Tengah Balok	27	33	30
		Joint Balok-Kolom	26	31	29
		Kolom	26	30	28
		Tengah Balok	27	34	31
		Joint Balok-Kolom	26	32	29
		Kolom	26	32	29

Uji Tekan

Uji tekan dilakukan dengan menggunakan alat CTM (*Compression testing machine*). Pengujian dilakukan pada beton silinder pada umur 28 hari. Adapun hasil uji tekan disajikan dalam Tabel 6 berikut. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, dapat dikatakan bahwa rasio kuat tekan beton normal pada nilai FAS yang sama lebih besar 21% dibandingkan dengan rasio kuat tekan beton SCC.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan

Sample	Kuat Tekan (f _c) (Mpa)	Nilai Rata-rata f _c (Mpa)	Rasio
BN 1	38,448	38,766	1,00
BN 2	39,067		
BN 3	38,783		
BS1	31,010	30,626	0,79
BS 2	30,734		
BS3	30,135		

Modulus Elastisitas

Berdasarkan *mix design* yang telah dibuat maka didapatkan berat isi beton normal sebesar 2,325 kg/m³ dan beton SCC sebesar 2,405 kg/m³. Pada penelitian ini juga telah diperoleh nilai mutu beton (f_c) adalah 38,766 MPa untuk beton normal dan 30,626 MPa untuk beton SCC Dengan menggunakan persamaan 2-2 dan 2-3, maka didapatkan nilai modulus elastisitas beton normal sebesar 29263,30 MPa dan beton SCC sebesar 28066,37 MPa.

Beban Retak Pertama

Pada penelitian ini diperoleh nilai rata-rata mutu beton (f_c) adalah 38,766 MPa untuk beton normal dan 30,626 MPa untuk beton SCC. Sehingga modulus runtuh pada penelitian ini akan terjadi pada tegangan,

$$\begin{aligned}
 f_r &= 0,62 \sqrt{f'_c} \\
 &= 0,62 \sqrt{38,766} = 3,860 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka nilai modulus runtuh beton SCC adalah sebesar 3,431 MPa. Kemudian untuk nilai momen crack pada penampang balok BKN 0.6 adalah sebesar,

$$M_{crack} = \frac{I_g * f_r}{y_t}$$

$$= \frac{1/12 \times 200 \times 250^3 \times 3,860}{125} = 8042219,97 \text{ N/mm}$$

Untuk hasil perhitungan M_{crack} pada sampel lainnya disajikan dalam Tabel 7.

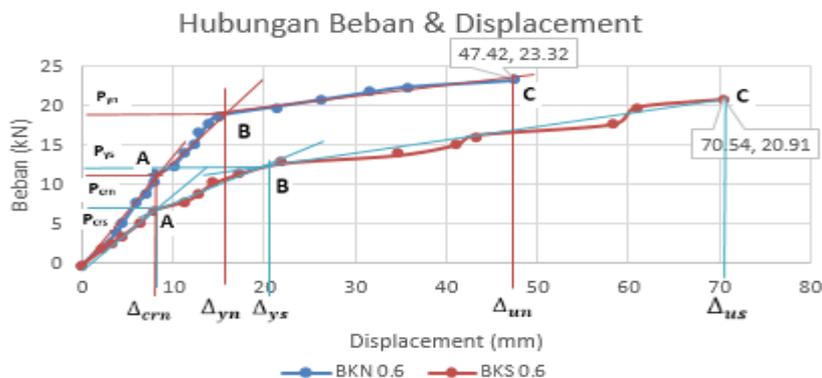
Tabel 7. Momen crack pada setiap benda uji

Sampel	f_r (N/mm ²)	I_g (mm ⁴)	y_t (mm)	M_{crack} (Nmm)	Lengan Momen (mm)	Beban First Crack, P_{cr} (kN)
BKN 0.6	3,860	260416666,7	125	8042219,97	1000	8,042
BKN 0.9	3,860	260416666,7	125	8042219,97	1000	8,042
BKN 2.1	3,860	260416666,7	125	8042219,97	1000	8,042
BKS 0.6	3,431	260416666,7	125	7148181,83	1000	7,148
BKS 0.9	3,431	260416666,7	125	7148181,83	1000	7,148
BKS 2.1	3,431	260416666,7	125	7148181,83	1000	7,148

Nilai P_{cr} di atas dapat digunakan untuk memprediksi besarnya beban pada saat terjadinya retak pertama.

Pengujian Struktur

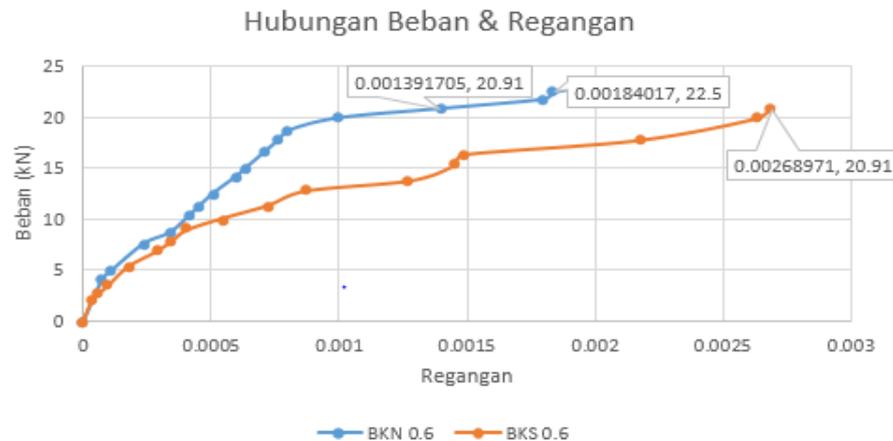
Pengujian struktur dilakukan menggunakan *set frame* dengan alat bantu LVDT dan *strain gauge* yang dipasang pada beton. Dari hasil *running* pengujian didapatkan grafik hubungan antara beban - *displacement* dan beban - regangan beton. Pada pengujian ini beban diberikan dengan kenaikan setiap 1,25 kN. Pembebanan diberikan hingga benda uji tidak mampu lagi menerima beban (runtuh) dan atau melebihi kapasitas alat uji. Grafik hubungan antara beban - *displacement* dan beban - regangan beton dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Hubungan beban dan *displacement* beton normal – SCC

BKN 0.6 mengalami keruntuhan saat menerima beban maksimum sebesar 23,32 kN dengan *displacement* sebesar 47,42 mm. Sedangkan BKS 0,6 mengalami keruntuhan saat menerima beban maksimum sebesar 20,91 kN dengan *displacement* sebesar 70,54 mm. Dari grafik di atas dapat diketahui nilai *displacement* yang terjadi pada beton SCC lebih besar dibandingkan dengan beton normal (70,54 mm > 47,42 mm). Titik A merupakan titik perubahan garis kurva (batas linier pertama) dengan titik tersebut dapat diketahui nilai P_{cr} yang merupakan beban saat terjadinya *first crack*. Berdasarkan grafik hubungan di atas, maka *first crack* BKS 0.6 (P_{crs}) terjadi pada pembebanan 6,78 kN dan BKN 0.6 (P_{crn}) pada pembebanan 10,38 kN. Keretakan terus terjadi hingga mencapai titik B. Pada titik ini tulangan tarik mulai leleh pada besaran beban yang disebut sebagai P_y . Nilai P_y BKS 0.6 (P_{ys})

adalah sebesar 12,45 kN dan BKN 0.6 (P_{yn}) sebesar 19,12 kN. Kemudian dari titik B hingga titik C beton berperilaku plastis yang juga menunjukkan daktilitas dari benda uji tersebut.



Gambar 7. Hubungan beban dan regangan pada beton sambungan balok-kolom beton SCC dan normal

Pada beton SCC regangan maksimum terjadi pada beban 20,91 kN dengan nilai regangan sebesar 0,00268. Sedangkan pada beton normal regangan terjadi pada beban 23,32 dengan nilai regangan sebesar 0,00201. Saat besar beban maksimum pada runtuhnya beton SCC sebesar 20,91 kN yang ditinjau pada beton normal, regangan yang terjadi adalah sebesar 0,00139. Nilai regangan dari beton SCC lebih besar dari beton normal sesuai dengan nilai modulus elastisitas beton SCC yang lebih kecil dari beton normal ($28066,37 \text{ Mpa} < 29263,30 \text{ Mpa}$), sehingga beton SCC lebih mudah untuk mengalami perpanjangan atau pempendekan. Berdasarkan nilai regangan pada kedua jenis benda uji sambungan balok-kolom yang belum mencapai nilai maksimum regangan beton (0,003) pada saat runtuh, maka jenis keruntuhan yang terjadi adalah *over-reinforced*.

Berdasarkan hasil plot grafik hubungan antara beban-*displacement* didapatkan nilai beban *first crack* yang akan dibandingkan dengan nilai *first crack* hasil perhitungan teoritis pada Tabel 8 .

Tabel 8. Nilai beban *first crack* pada experimental dan teoritis

Sampel	Pcr Teoritis (kN)	Pcr Experimental (kN)	Rasio Pcr Experimental Terhadap Teoritis	Keterangan
BKN 0.6	8,042	10,38	1,291	runtuh
BKN 0.9	8,042	5,52	0,686	set failure
BKN 2.1	8,042	7,45	0,926	set failure
BKS 0.6	7,148	6,78	0,948	runtuh
BKS 0.9	7,148	8,75	1,224	tidak runtuh
BKS 2.1	7,148	8,75	1,224	tidak runtuh

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui rasio perbandingan P_{cr} experimental terhadap P_{cr} teoritis. Rasio yang dihasilkan relatif kecil dengan nilai beban *crack* experimental yang mendekati nilai beban *crack* teoritis. Dengan begitu dapat dikatakan bahwa persamaan 7 menghasilkan nilai beban *first crack* yang cukup valid.

Kemudian dari hasil *running* pengujian yang dilakukan di laboratorium, didapatkan nilai momen hasil experimental yang selanjutnya akan dibandingkan dengan momen ultimit hasil perhitungan. Hasil perhitungan momen ultimit dan momen experimental disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 9. Momen ultimit perhitungan dan hasil experimental

Sampel	Mu Teoritis (kNm)	Mu Experimental (kNm)	Keterangan	Rasio 5=3/2
1	2	3	4	5
BKN 0.6	13,46	23,32	Runtuh	1,73
BKN 0.9	22,8992	11,42	Runtuh (Set failure)	0,50
BKN 2.1	41,6424	22,65	Tidak Runtuh (Set failure)	0,54
BKS 0.6	13,7496	20,91	Runtuh	1,52
BKS 0.9	23,96	28,62	Tidak Runtuh	1,19
BKS 2.1	43,012	28,32	Tidak Runtuh	0,66

Berdasarkan momen ultimit experimental dan teoritis dapat diketahui bahwa momen ultimit experimental BKN 0.6, BKS 0.6 dan BKS 0.9 sudah memenuhi nilai momen ultimit teoritis yang dihitung sebelumnya dengan rasio perbandingan lebih dari 1 (>1). Untuk BKN 0.9 dan BKN 2.1 yang mengalami *set failure* saat pengujian tentunya memiliki nilai momen ultimit experimental yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan momen ultimit teoritis. Selanjutnya untuk BKS 2.1 juga tidak memenuhi nilai momen ultimit teoritis yang direncanakan karena kapasitas alat pengujian yang tidak memadai (pengunci kolom bergeser).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Rasio kuat tekan beton normal pada nilai FAS yang sama lebih besar 21% dibandingkan dengan rasio kuat tekan beton SCC. Nilai pantul yang dihasilkan pada benda uji sambungan balok-kolom relatif sama di setiap segmen. Beton normal memiliki *displacement* yang lebih kecil dari beton SCC yang dapat dilihat dari nilai *displacement* beton normal yang lebih kecil dibandingkan dengan beton SCC (BKN 0.6; $47,42 < \text{BKS } 0.6; 70,54$). Nilai regangan pada besar beban yang sama lebih besar dimiliki oleh beton SCC (BKN 0.6; $0,00139 < \text{BKS } 0.6; 0,00268$), modulus elastisitas beton SCC lebih kecil dari beton normal ($28066,37 \text{ Mpa} < 29263,30 \text{ Mpa}$), sehingga beton SCC lebih mudah untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. Berdasarkan nilai regangan pada kedua jenis benda uji sambungan balok-kolom yang belum mencapai nilai maksimum regangan beton (0,003) pada saat runtuh, maka jenis keruntuhan yang terjadi adalah *over-reinforced*.

Rasio beban retak pertama hasil experimental (P_{cr}) terhadap beban retak teoritis berturut-turut untuk benda uji BKN 0.6; BKN 0.9; BKN 2.1; BKS 0.6; BKS 0.9 dan BKS 2.1 adalah 1,291; 0,686; 0,926; 0,948; 1,224 dan 1,224.

Rasio momen ultimit experimental terhadap momen ultimit hasil perhitungan berdasarkan teori berturut-turut untuk benda uji BKN 0.6; BKN 0.9; BKN 2.1; BKS 0.6; BKS 0.9 dan BKS 2.1 adalah 1,73; 0,50; 0,54; 1,52; 1,19 dan 0,66. Berdasarkan momen ultimit experimental dan teoritis dapat diketahui bahwa momen ultimit experimental BKN 0.6, BKS 0.6 dan BKS 0.9 sudah memenuhi nilai momen ultimit teoritis yang dihitung sebelumnya dengan rasio perbandingan lebih dari 1 (>1). Untuk BKN 0.9 dan BKN 2.1 yang mengalami *set failure* saat pengujian tentunya memiliki nilai momen ultimit experimental yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan momen ultimit teoritis. Selanjutnya untuk BKS 2.1 juga tidak memenuhi nilai momen ultimit teoritis yang direncanakan karena kapasitas alat pengujian yang tidak memadai (pengunci kolom bergeser).

Saran

Sebaiknya variasi *mix design* untuk beton SCC diperbanyak untuk hasil yang lebih baik, ketelitian sangat diperlukan untuk hasil penelitian yang baik. Untuk menghindari kurangnya data akibat *failure* dalam pengujian, benda uji penelitian untuk setiap variasi sebaiknya lebih dari satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, dkk, 2015, *Kajian Eksperimental Kuat Lentur Balok Pada Sambungan Balok Kolom Beton Bertulang*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil.
- Akmaluddin, 2011, *Pengaruh Rasio Tulangan Pada Momen Efektif Inersia Balok Beton Ringan Bertulang Untuk Perhitungan Defleksi Jangka Pendek*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil
- Anggraini, dkk, 2016, *Studi Eksperimental Perilaku Geser Balok Pada Sambungan Balok Kolom Beton Bertulang*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil.
- Arfiyani, 2015, *Evaluasi Peningkatan Kuat Tekan, Cepat Rambat Gelombang Dan Nilai Pantul Pada Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete) Dengan Metode Destructive Dan Non-Destructive*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Mataram.
- ASTM C494-82, *Specification for Chemical Admixtures for Concrete*
- Citrakusuma, JL., 2012, *Kuat Tekan Self Compacting Concrete dengan Kadar Superplasticizer yang Bervariasi*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember, Jember.
- EFNARC, 2002, *Specification & Guidelines for Self-Compacting Concrete, English ed.*, Norfolk UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- EFNARC, 2005, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*, Norfolk UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002, *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures*, Training Course Series No.17
- Maria, 2008, *Studi Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Agregat Halus Copper Slag*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Mulyono, T., 2005, *Teknologi Beton*, C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Okamura, H., Ouchi, M., 2003, *Self Compacting Concrete*, Japan Concrete Institute, (http://www.jstage.jts.go.jp/article/jact/1/1/5/_pdf, diakses 15 Februari 2017).
- Pratiwi, M., 2014, *Pengaruh Penambahan Fiber Bendrat Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Mataram.
- SK SNI S-04-1989-F, 1989, *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*, Departemen Pekerjaan Umum.
- SK SNI 03-2834-1993, 1993, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Departemen Pekerjaan Umum.
- SK SNI 2847-2013, 2013, *Persyaratan Beton Structural Untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Tjokrodinuljo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Napiri, Yogyakarta.