

Kajian Eksperimental Kekuatan Lentur Pelat Beton Self Compacting Concrete (SCC)

Irzal Agus

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Indonesia

irzalagus@unidayan.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perilaku lentur pelat beton SCC dengan menganalisa lendutan, pola retak, momen dan kelengkungan yang terjadi akibat pembebanan. Pelaksanaan penelitian dengan membuat benda uji pelat beton SCC dengan ukuran lebar 40 cm, tinggi 12 cm dan panjang 170 cm dengan jumlah 3 sampel. Digunakan tulangan tarik 3 Ø 10 mm, dan tulangan susut digunakan Ø 8–20 cm. Kuat tekan beton SCC didesain f_c' 46,35 MPa, tegangan leleh baja 458,26 MPa. Untuk pembacaan lendutan digunakan enam dial geuge dan pembacaan pembebanan dilakukan setiap interval 2 kN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa momen crack yang terjadi pada ketiga sampel pelat yaitu sebesar 4,96 kNm, 5,09 kNm dan 4,96. Momen ultimate rata-rata yang dihasilkan pada masing-masing variasi pelat sebesar 10,23 kNm, 10,23 dan 10,36 kNm. Rasio kelengkungan daktilitas 10,36.

Kata kunci : *self compacting concrete*; pelat; kekuatan lentur.

Pendahuluan

Modernisasi dalam bidang konstruksi bangunan mendorong orang untuk menciptakan dan menggunakan struktur bangunan yang dapat digunakan untuk manfaat lain serta diolah secara prapabrikasi, pelat adalah salah satu bagian dari struktur bangunan yang fungsi utamanya adalah sebagai elemen struktural yang langsung mendukung beban.

Pekerjaan pemadatan dalam pembuatan beton merupakan hal mutlak yang harus dilaksanakan. Tujuan dari pemadatan ini untuk meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga diperoleh beton yang homogen dan padat. Pemadatan dengan menggunakan vibrator biasanya sering sukar menjangkau daerah yang mempunyai tulangan yang rapat seperti : pertemuan pelat dan kolom, sehingga pada daerah tersebut mutu beton kurang bisa terkontrol. Pemakaian vibrator yang kurang tepat justru akan berdampak buruk pada beton, misalnya terjadi segregasi jika pemakaian berlebihan, merubah posisi tulangan bila vibrator mengenai rangkaian tulangan, dan juga menimbulkan banyak pori-pori dalam beton akibat terjadinya buih-buih udara yang ditimbulkan getaran vibrator yang tak sempat keluar permukaan dan terperangkap dalam beton.

Penggunaan metode *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Beban-beban yang bekerja pada struktur baik yang berupa beban gravitasi (yang berarah vertikal) maupun beban lain menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada pelat merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban dari luar. Apabila beban bertambah, maka pada pelat akan terjadi deformasi dan regangan bertambah yang mengakibatkan timbulnya retak lentur di sepanjang bentang pelat. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur.

Self Compacting Concrete (SCC)

SCC adalah suatu beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir melewati tulangan dan memenuhi seluruh ruang yang ada di dalam cetakan secara padat tanpa memerlukan proses pemadatan manual atau getaran mekanik. Untuk memperoleh beton yang mampu mengalir tanpa terjadi segregasi material maka digunakan *high range water reducer* atau *superplasticizer*. *Superplasticizer* meningkatkan konsistensi pasta semen dan membuat pasta semen menyelimuti dan mengikat agregat dengan kuat sehingga beton mampu mengalir tanpa mengalami segregasi material.

Selain itu, untuk dapat mengalir dengan baik maka volume agregat kasar sama dengan volume

agregat halus di dalam desain campuran SCC. Diperlukan juga filler seperti abu terbang dan silica fume. Beton SCC yang baik harus tetap homogen, kohesif, tidak segregasi, tidak terjadi blocking, dan tidak bleeding. Untuk itu perlu diadakan pengujian untuk menjamin workabilitas beton SCC.

Proporsi jumlah material pembentuk beton SCC menurut *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*.

Tabel 1. Proporsi campuran beton SCC

Material	Batas dalam berat (kg/m ³)
Powder	380 - 600
Air	150 - 210
Agregat kasar	750 - 1000
Agregat halus	48 – 55% dari berat agregat

Klas SCC berdasarkan nilai *slump flow* menurut *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*.

Tabel 2. Penentuan Kelas berdasarkan nilai *slump*

Kelas	<i>Slump flow</i> (mm)
SF1	550 – 650
SF2	660 – 750
SF3	760 – 850

Klas SCC berdasarkan nilai *slump flow* menurut *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*

Tabel 3. Penentuan kelas berdasarkan waktu T500 mm

Klas	T500 ,S
VS1	≤ 2
VS2	>2

Bahan Penyusun Pelat

Semen Portland Komposit/*Portland Composite Cement* (PCC)

(SNI 15-7064-2004) Semen Portland Komposit adalah Bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain: Terak tanur tinggi (Blast Furnace Slag), Pozolan,

Senyawa silikat, Batu kapur. Dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen portland Komposit. Diantara bahan tambahan yang digunakan merupakan hasil samping industri tertentu, sehingga semen portland komposit ini bisa dikategorikan sebagai semen ramah lingkungan.

Tabel 4. Syarat Semen Portland Komposit

No	Physical properties	SNI 15 - 7064-2004 Standard	
		Cement used	
1.	Kandungan udara (%)	12 max	5,25
2.	Kehalusan butir Blaine meter (m ² /kg)	280 min	365
3.	Expansion, % (max)	0.8 max	-
4.	Kuat Tekan		
	a. 3 hari (kg /cm ²)	125 min	185
	b. 7 hari (kg /cm ²)	200 min	263
	c. 28 hari (kg /cm ²)	250 min	410
5.	Waktu ikat (Vicat test) :		
	a. Ikatan awal, menit	45 min	120
	b. Ikatan akhir, minutes	375 max	300
6.	Ikatan semu menit	50 min	-
7.	Panas hidrasi 7 hari, cal/g		65
8.	Konsistensi Normal (%)		-
9.	Specific gravity		3,1

Tabel 5. Komposisi kimia PCC

No	Oxide	SNI 15-7064-2004	Quality
		Standard	Typical Interval
1	MgO	6.0 max	0,97
2.	SO ₃	4.0 max	2,16
3.	Loss of Ignition	5.0 max	1,98

Bahan Tambah

Superplasticizer

Penggunaan *superplasticizer* untuk menaikkan *workability* campuran beton dan mempengaruhi *slump, bleeding, air content* dan kekuatan beton. Jenis *Superplasticizer* berdasarkan bahan dasarnya antara lain : Nephthaline, Melamine, Polycarboxylate.

Secara umum penggunaan *superplasticizer* dari jenis Neptaline akan menghasilkan penurunan

kandungan udara dan menaikkan bleeding dan kekuatan, hal tersebut dapat tercapai jika air dalam campuran beton dikurangi. Sedangkan jenis melamine sangat sedikit pengaruhnya terhadap kandungan udara, kekuatan beton, dan menghasilkan pengurangan *bleeding*.

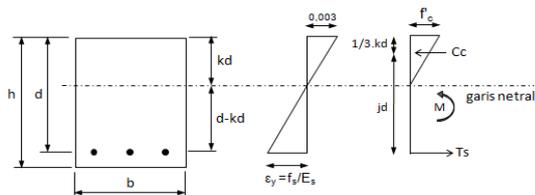
Superplasticizer yang diproduksi terdapat berbagai macam antara lain : *viscocrete* yang menggunakan bahan dasar polycarboxylates. *Superplasticizer* ini merupakan teknologi baru dari beton aditif menghasilkan beton yang sangat cair, beton tanpa pemadatan (*self compacted*), mutu sangat tinggi dengan pengurangan air hingga 30%.

Pelat Beton Bertulang

Analisa Momen Pada Pelat Lentur

Agar keseimbangan gaya horizontal terpenuhi, gaya tekan C pada beton dan gaya tarik pada tulangan harus saling mengimbangi, jadi haruslah :

$$C_c = T_s \quad (1)$$



Gambar 1. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang pelat

Pada saat setelah retak pada batas layan ($f_s < f_y$) sampai tulangan leleh ($f_s = f_y$), diperlihatkan pada gambar 1. dari persamaan (1) dan juga gambar diatas maka didapat :

$$C_c = 1/2 f_c . b . k_d \quad (2)$$

Sehingga didapatkan persamaan keseimbangan

$$A_s . f_s = f_c / 2 . b . k_d \quad (3)$$

Persamaan 2 dapat disederhanakan dengan hukum Hooke's, dengan mensubtitusikan $f_s = E_s . \epsilon_s$ dan $f_c = E_c . \epsilon_c$ kepersamaan (2) didapat

$$k_d . b . E_c . (\epsilon_c / 2) = A_s . E_s . \epsilon_s \quad (4)$$

Untuk mendapatkan nilai k :

$$k = [(\rho)^2 n^2 + 2(\rho)n]^{1/2} - (\rho)n \quad (5)$$

Dimana, $E_s / E_c = n$

$$\rho = A_s / b_d$$

n adalah ratio modular, dengan nilai tidak boleh kurang dari 6.

Hubungan antara regangan baja dan beton

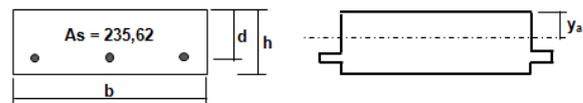
$$\epsilon_c = \epsilon_s \frac{kd}{d - kd} \quad (6)$$

Untuk mendapatkan kuat tekan beton yang terjadi :

$$f_c = \epsilon_c . E_c \quad (7)$$

Momen pada saat terjadi retak pertama

Perhitungan momen pada saat retak pertama



Gambar 2. Penampang Transformasi

Pusat transformasi tampang :

$$y_a = \frac{(C_c \cdot \frac{kd}{3})}{C_c} \quad (8)$$

$$I_{gt} = \frac{b \cdot h^3}{12} + bh \left(y_a - \frac{1}{2}h \right)^2 + (n-1) A_s (d - y_a)^2 \quad (9)$$

$$M_{cr} = \frac{I_{gt}}{Y_b} . f_r \quad (10)$$

Dimana f_r = kuat lentur, I_{gt} adalah momen inersia gross total, $y_b = h - y_a$

Momen pada saat tulangan tarik leleh

Untuk perhitungan pada saat tulangan leleh lihat gambar (2).

$$M_y = A_s . f_y . jd \quad (11)$$

Jarak gaya c dari ujung atas (y_a) :

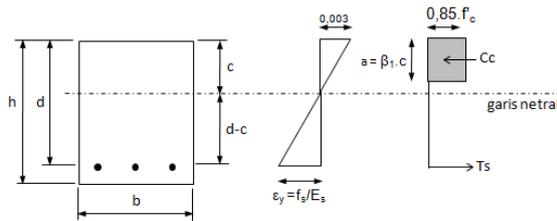
$$y_a = \frac{(C_c \cdot \frac{kd}{3})}{C_c}$$

$$j_d = d - y_a \quad (12)$$

Untuk pelat *undereinforced* keruntuhan lentur ditandai dengan melelehnya tulangan sementara tegangan yang terjadi pada beton kecil ($f_c < f_c'$). Batas elastis ini dimana nilai $f_s = f_y$. Sehingga momen yang terjadi seperti persamaan (11) : $M_y = f_y . A_s . j_d$. Setelah tegangan baja yang terjadi sama dengan tegangan leleh baja maka hal ini dikatakan pelat sudah mengalami lentur daktail .

Momen pada saat Ultimate

Untuk perhitungan momen saat ultimate lihat gambar (4)



Gambar 3. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang pelat ultimate

Dalam keadaan lentur daktail pelat mengalami deformasi tanpa terjadinya keruntuhan pada tulangan tarik.

Dari persamaan keseimbangan gaya dan untuk persamaan tulangan tunggal adalah :

$$A_s \cdot f_y = 0,85 f_c \cdot b \cdot a \quad (13)$$

atau :

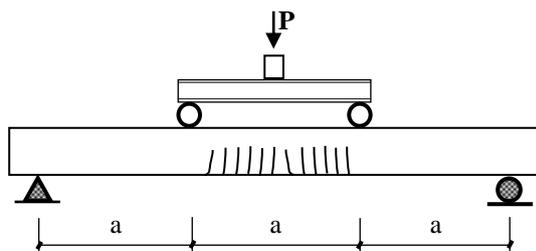
$$a = (A_s \cdot f_y / 0,85 \cdot f_c' \cdot b) \quad (14)$$

Untuk menentukan momen ultimate :

$$M_u = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) \quad (15)$$

Keruntuhan Lentur Pelat

Untuk memperoleh keruntuhan lentur maka pelat didesain $a/d \geq 5,5$. Proses keruntuhan lentur : retak pertama terjadi pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama, retak ini lebih dominan disebabkan karena tegangan lentur, sementara tegangan geser sangat kecil. Dalam keruntuhan lentur ini retak vertikal dipertengahan bentang sekitar 50%, dan apabila bebannya ditambah maka retak akan semakin lebar dan semakin panjang menuju arah sumbu netral. Keruntuhan ini merupakan keruntuhan yang daktail (*dactile*) yang ditandai dahulu dengan lelehnya tulangan tarik. Perilaku daktail ini memberikan peringatan terlebih dahulu kepada pemakai bangunan sebelum terjadi keruntuhan total pelat (*collaps*).



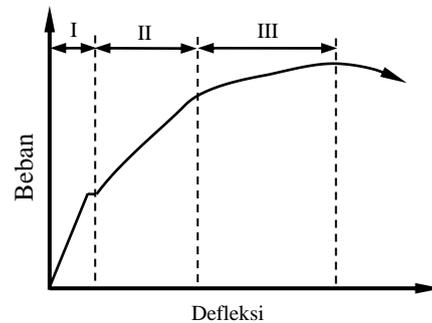
Gambar 4. Pola keruntuhan lentur

Analisa lendutan pada pelat

Hubungan lendutan dan beban

Hubungan beban-defleksi pelat beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear sebelum terjadi ruptur:

- Daerah I : taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.
- Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya.
- Daerah III : Taraf *pasca-serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



Gambar 5. Hubungan beban defleksi pada pelat. Daerah I, taraf praretak; daerah II, taraf pasca retak; daerah III, taraf *pasca-serviceability* (tulangan baja meleleh)

Lendutan yang terjadi pada saat belum terjadi retak (daerah 1)

Lendutan yang terjadi :

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384E_c I_{gt}} + \frac{P \cdot a}{24E_c I_{gt}} (3L^2 - 4 \cdot a^2) \quad (16)$$

Lendutan Setelah terjadi retak (daerah 2)

Menghitung lendutan disaat tulangan mengalami leleh, momen inertiya yang digunakan adalah I_e .

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384E_c I_e} + \frac{P \cdot a}{24E_c I_e} (3L^2 - 4 \cdot a^2) \quad (17)$$

$$k = \left[(\rho)^2 n^2 + 2(\rho)n \right]^{1/2} - (\rho)n \quad (18)$$

$$\rho = A_s / (b \cdot d) \quad (19)$$

$$I_{cr} = 1/3 \cdot b \cdot kd^3 + n \cdot A_s (d - kd)^2 \quad (20)$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right) I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right) \right] I_{cr} \leq I_g \quad (21)$$

Lendutan pada saat beban ultimate (daerah 3)
 Lendutan yang terjadi pada saat beban ultimate digunakan momen inersia crack I_{cr}

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384E_c I_{cr}} + \frac{P.a}{24E_c I_{cr}} (3L^2 - 4.a^2) \quad (22)$$

Lebar Retak

Beton dapat retak pada awal pembebanan karena material ini lemah terhadap tarik. Dua jenis tegangan yang bekerja pada daerah beton yang tertarik disekeliling tulangan, yaitu tegangan memanjang dan tegangan lateral. Pada saat terjadi tegangan lentur memanjang, daerah tarik mengalami kontraksi lateral sebelum terjadinya retak sehingga terjadi tekanan lateral antara beton dan tulangan, pada saat retak lentur mulai terjadi, tegangan lateral biaksial ini menghilang pada bagian yang mengalami retak karena tegangan tarik memanjang pada beton menjadi nol. Secara dinamis tegangan pada beton diteruskan ketulangan baja. Pada saat transfer tegangan ini, tegangan tarik pada penampang yang retak dilepaskan dan menjadi nol pada lokasi retaknya. Dalam keadaan seperti ini posisi sumbu netral pada penampang retak terus naik untuk mempertahankan keseimbangan gaya pada penampang tersebut.

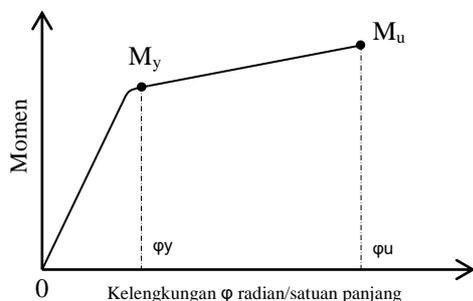
Lebar retak (E.G. Nawy, 1998)

$$w_{max} = 0,076.\beta.f_s(d_c.A)^{1/3} \quad (23)$$

$$A = \frac{2d_c.b}{n} \quad (24)$$

Kurvatur (kelengkungan)

Kelengkungan pelat :



Gambar 6. Kurvatur pada lentur daktail

Pada saat terjadi crack $(\phi_{crack}) = (fr/Ec)/yb \quad (25)$

Pada saat tulangan leleh $(\phi_y) = \epsilon_s/(d-kd) \quad (26)$

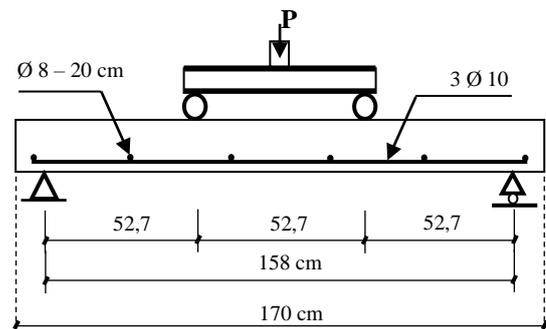
Pada saat momen ultimate $(\phi_u) = \epsilon_c/c \quad (27)$

Ratio kelengkungan daktailitas $(\mu) = \phi_u / \phi_y \quad (28)$

Metode Penelitian

Penentuan dimensi pelat

Penentuan tinggi pelat (h minimum) = $1/20.L = 1/20 \times 170 = 8,5$ cm, digunakan h = 12 cm dan tinggi efektif (d) = 9,5 cm, lebar pelat digunakan untuk pelat satu arah (b) = 40 cm, panjang pelat 170 cm, untuk mendapatkan pelat lentur, bentang geser (a) dibanding tinggi efektif (d) harus lebih dari 5,5, panjang tumpuan peralatan yang ada 158 cm, jarak pembebanan 52,7 cm, panjang bentang geser (a) = $(158/3) = 52,7$ cm, sehingga $a/d = 52,7/9,5 = 5,54 > 5,5 \dots$ (ok)



Gambar 7. Dimensi dan penulangan pelat

Rancangan campuran SCC untuk 1 m³

Tabel 6. Rekapitulasi kebutuhan rancangan campuran SCC untuk 1m³

Material	Berat (kg)
- Semen (PCC)	600
- Batu pecah (<i>cipping</i>)	780
- Pasir	760
- Air	210
- Superplaticizer	9,9

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian meliputi : satu set uji material, satu set mixer/molen, Satu set uji karakteristik beton (kuat tekan, lentur, kuat tarik belah), dan satu set uji lentur pelat beton bertulang.

Bahan penelitian meliputi : semen PCC, Agregat kasar (batu pecah) dan halus (pasir), Tulangan yang digunakan Ø10 mm, dan 8 mm, Superplasticizer (Sika Viscocrete 3115 ID), dan Air PDAM.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Slump flow

Pengukuran *slump flow* ini untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan adukan untuk mencapai diameter 50 cm dan slump flow akhir, sehingga bisa diketahui tingkat workability-nya dan kemampuan beton untuk mengalir mengisi keseluruhan ruang cetakan dengan tanpa mengalami *segregasi*.

Tabel 7. Hasil pengamatan *slump flow*

No	T50 cm (detik)	Slump Flow (mm)
1	2,65	720
2	2,60	700
3	2,80	750
Rata-rata	2,68	723

Dari hasil pengamatan *slump flow* dapat disimpulkan bahwa : Semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk mencapai T50 cm , maka semakin besar nilai *slump flow* akhirnya, dari hasil pengamatan didapatkan nilai *slump flow* 700 mm sampai 750 mm, dan T50 cm dengan nilai 2,60 – 2,80 detik. Menurut *The European Guidelines for Self Compacting Concrete* masuk pada kelas SF2.

Karakteristik beton

Tabel 8. Karakteristik beton SCC umur 28 hari

Jenis Pengujian	Satuan (MPa)
Kuat tekan	46,35
Kuat lentur	5,67
Kuat tarik belah	4,34

Pelat Beton Bertulang

Momen pada pelat beton bertulang

Hasil analisa dan perhitungan momen diperlihatkan pada tabel 7.

Tabel 9. Hasil analisa momen rata-rata

Pelat	Momen (kNm)			
	Crack		Ultimate	
	Teori	Hasil	Teori	Hasil
BN-1	4,77	4,96	9,89	10,23
BN-2	4,77	5,09	9,89	10,23
BN-3	4,77	4,96	9,89	10,36
Rata-rata	4,77	5,00	9,89	10,27

Tabel 9. memperlihatkan bahwa momen yang terjadi pada kondisi sebelum retak dan kondisi

ultimate lebih tinggi dari analisa momen secara teoritis, pada saat kondisi ultimate momen hasil eksperimental rata-rata sebesar 10,27 kNm atau lebih tinggi 3,73% dari teoritis. Perbandingan kondisi momen ultimate eksperimental terhadap analisa momen secara teoritis sebesar $10,27/9,89 = 1.04$.

Hubungan momen dan lendutan

Hasil analisa dan perhitungan lendutan diperlihatkan pada tabel 10, 11 dan 12.

Tabel 10. Lendutan pada saat sebelum crack rata-rata.

Pelat	Beban (P) (kN)	Momen (kNm)	Lendutan (mm)		
			Teori	Hasil	Hasil/Teori
BN-1	16,79	4,77	1,06	1,23	1,16
BN-2	16,79	4,77	1,06	1,29	1,21
BN-3	16,79	4,77	1,06	1,25	1,18
Rata-rata			1,06	1,26	1,18

Tabel 11. Lendutan pada saat tulangan tarik leleh.

Pelat	Beban (P) (kN)	Momen (kNm)	Lendutan (mm)		
			Teori	Hasil	Hasil/Teori
BN-1	34,41	9,41	5,84	6,81	1,16
BN-2	34,41	9,41	5,84	7,43	1,27
BN-3	34,41	9,41	5,84	7,16	1,22
Rata-rata			5,84	7,13	1,21

Untuk menganalisa lendutan pada saat tulangan leleh digunakan $f_y = 458,26$ MPa, dimana tegangan leleh tersebut hasil pengujian tarik langsung material tulangan baja. Nilai tegangan tersebut dimasukkan dalam hitungan sehingga diperoleh momen.

Untuk menghitung momen yang terjadi :

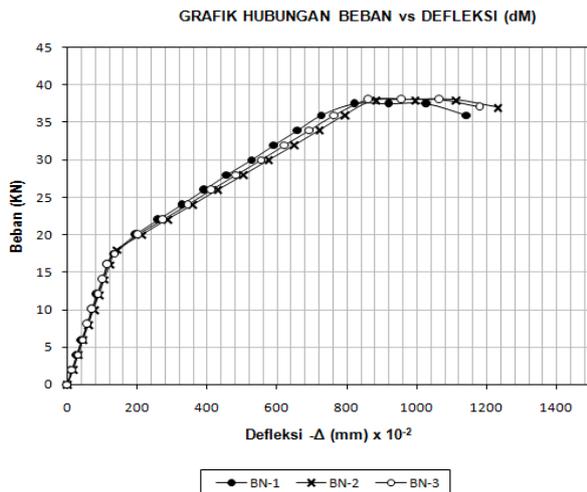
$$M = (RA \times 1/2L) - (1/8 \times q \times L^2) - (P \times 1/6 L) \quad (29)$$

Hasil lendutan :

Tabel 12. Lendutan pada saat beban maksimum

Pelat	Beban (kN)	Momen (kNm)	Lendutan (mm)		
			Teori	Hasil	Hasil/Teori
BN-1	36,21	9,89	6,37	7,62	1,19
BN-2	36,21	9,89	6,37	8,20	1,28
BN-3	36,21	9,89	6,37	7,95	1,25
Rata-rata	36,21	9,89	6,37	7,92	1,24

Tabel 10. memperlihatkan bahwa lendutan yang terjadi memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding lendutan teoritis. Pada saat crack lendutan yang terjadi lebih besar 1,18 dari lendutan teoritis. Tabel 11 memperlihatkan bahwa lendutan yang terjadi pada saat tulangan leleh lebih besar 1,21 dari lendutan teoritis. Pada tabel 12 memperlihatkan bahwa lendutan yang terjadi 1,24 kali dari lendutan secara teoritis.



Gambar 8. Grafik hubungan beban vs defleksi pada semua jenis pelat (BN)

Gambar 9 tabel 12 memperlihatkan bahwa lendutan yang terjadi pada pelat beton SCC (BN) relatif sama, hal ini terjadi karena masing-masing variasi pelat beton SCC (BN) memiliki kekuatan lentur yang tidak jauh berbeda, blok tekan pada masing-masing variasi pelat beton berlapis sama, sehingga dari kuat lentur ini akan mempengaruhi besarnya momen inersia efektif, dan juga adanya perbedaan modulus elastisitas beton, semakin kecil nilai modulus elastisitas beton dan momen inersia efektif maka lendutan yang terjadi akan semakin besar. Daktilitas lendutan yang terjadi untuk ketiga jenis pelat memenuhi syarat yaitu lebih besar dari 4.

Lebar retak :

Penentuan lebar retak maksimum

$$w_{max} = 0,076 \cdot \beta \cdot f_s \cdot (d_c \cdot A)^{1/3}$$

dimana : $\beta = 1,2$

$$f_s = 0,6 f_y = 274,96 \text{ MPa} = 39,93 \text{ ksi}$$

Lebar pelat (b) = 400 mm = 15,75 inchi

dc = 20 mm = 0,79 inchi

$$A = \frac{\text{beton (bt)}}{\text{Banyaknya tulangan}} = \frac{b \cdot (2dc)}{3} = \frac{15,75 \times (2 \times 0,79)}{3} = 8,27 \text{ inchi}^2$$

$$w_{max} = 0,076 \times 1,2 \times 39,93 \times (0,79 \times 8,27)^{1/3} \cdot 10^{-3} = 0,0068 \text{ inchi} = 0,172 \text{ mm}$$

Toleransi untuk lebar retak menurut ACI = 0,41 mm

Tabel 13. Rekap hasil pengamatan retak

Pelat	Beban retak pertama	Jarak antar retak (mm)	Beban retak maksimum
BN-1	17,50	157	37,50
BN-2	18	161	38
BN-3	17,50	162	37,50
Rata-rata	17,67	160	37,67

Tabel 14. Lebar retak rata-rata

Pelat	Lebar retak utama (mm)		
	Retak awal	Saat tulangan leleh	Saat beban maksimum
BN-1	0,01	0,08	0,08
BN-2	0,01	0,08	0,08
BN-3	0,01	0,07	0,08
Rata-rata	0,01	0,076	0,08

Tabel 14. memperlihatkan bahwa lebar retak yang terjadi pada saat tulangan mengalami leleh masih memenuhi syarat maksimum yang ditentukan yaitu 0,41 mm.

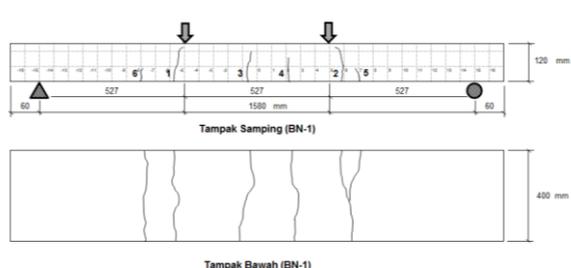
Dari gambar 9, tabel 13 dan tabel 14 dapat dijelaskan bahwa : terjadinya retak pertama pada pembebanan 17,67 kN dengan arah vertikal pada 1/3 bentang tengah retak ini berkembang jumlahnya dan juga lebarnya seiring dengan penambahan beban, dari keempat pelat tersebut diatas retak pertama yang terjadi berkembang menjadi retak utama, hal ini terjadi karena pada saat retak lentur mulai terjadi tegangan lateral hilang dan tegangan tarik memanjang beton pada bagian retak menjadi nol dan untuk selanjutnya tegangan pada beton disalurkan pada tulangan sehingga pada tulangan tempat terjadinya retak menjadi pemusatan tegangan. Setelah terjadi retak penambahan pembebanan pada pelat selalu diikuti dengan penambahan pada lebar retak kumulatif dan retak utama. Jarak rata - rata antar retak sebesar 160 mm. Batas maksimum retak yang terjadi pada retak utama rata-rata terjadi pada pembebanan 37,67 kN atau pada momen 9,89 kN.m. Setelah pembebanan 37,67 kN kenaikan grafik cukup landai, dari hasil pola retaknya tidak terjadi *bond slip* ini artinya beton dengan tulangan memiliki lekatan yang kuat.

Pola retak pelat :

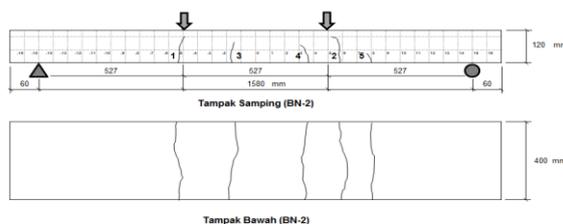
Dari hasil pengujian semua pelat terjadi keruntuhan pada daerah lentur, keruntuhan ini berawal dari ketidak mampuan pelat bagian lentur menerima beban yang melampaui kekuatannya, keruntuhan ini berawal dari retak di 1/3 bentang tengah yang terus menerus mengalami peningkatan panjang dan lebarnya seiring penambahan beban. Keruntuhan ini diawali dengan ketidakmampuan beton menerima gaya tarik yang ditandai dengan retak awal pada bagian 1/3 tengah bentang. Tugas menerima gaya tarik dilanjutkan oleh tulangan sampai tulangan leleh dengan ditandai beban meningkat cukup kecil tetapi lendutan yang dihasilkan meningkat tajam, hal ini berlanjut sampai didapatkan beban puncak yaitu beban tidak lagi bertambah tetapi lendutan yang terus bertambah besar terutama pada 1/3 bagian tengah bentang terutama pada bagian yang terdapat retak cukup lebar dan selanjutnya secara tiba-tiba beban turun dratis.



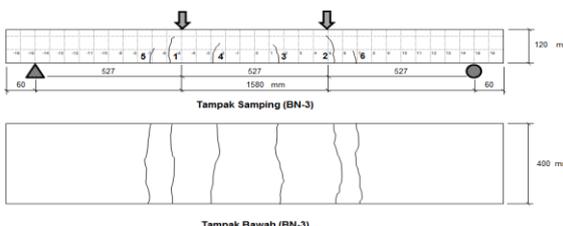
Gambar 12. Perilaku retak pelat beton SC



Gambar 9. Pola retak pelat beton SCC (BN-1)



Gambar 10. Pola retak pelat beton SCC (BN-2)



Gambar 11. Pola retak pelat beton SCC (BN-3)

Kesimpulan

Berdasarkan studi eksperimental dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil pengujian terhadap pelat beton SCC yang diberikan beban terpusat menunjukkan bahwa semua pelat beton berlapis mengalami keruntuhan lentur yang cirinya retak vertikal berawal dari 1/3 bentang tengah yang terus menerus mengalami peningkatan panjang dan lebarnya seiring penambahan beban.
2. Momen yang terjadi pada saat crack dan pada saat ultimate lebih tinggi dari momen secara teoritis, pada saat keadaan ultimate momen hasil eksperimental rata-rata 10,27 kNm atau lebih tinggi 3,73% dari teoritis. Perbandingan momen hasil eksperimental terhadap momen secara teoritis sebesar $10,27/9,89 = 1,04$.
3. Terjadinya retak pertama pada pembebanan 17,5 kN dengan arah vertikal pada 1/3 bentang tengah retak ini berkembang jumlahnya dan juga lebarnya seiring dengan penambahan beban. Jarak rata-rata antar retak sebesar 160 mm. Batas maksimum retak yang terjadi pada retak utama rata-rata terjadi pada pembebanan 37,67 kN atau pada momen 10,27 kNm.

Daftar Pustaka

ACI Committee 522, (2006), *Pervious Concrete (ACI 522R-06)*, American Concrete Institute.
 ASTM C33-03, *Standard Specification For Concrete Aggregates*.
 ASTM C39/C39M-01, *Standard Test Method For Compressive Strength Of Cylindrical Concrete Specimens*.
 Almir Barros da S. Santos Neto, Henriette Lebre La Rovere (2010), *Composite Concrete/GFRP Slabs For Footbridge Deck System*, Composite Structures.

- Charles K. Kankam, Brigitte Odum-Ewuakye (2001), Flexural behaviour of babadua reinforced one-way slabs subjected to third-point loading, *Construction and Building Materials*, Vol. 15, 27-33.
- Dale P. Bentz, (2008), Virtual Pervious Concrete: Microstructure, Percolation, and Permeability, *ACI Material Journal*, May-June, pp 297-301.
- Dionys VG, Anne Beeldens and Chris Caestecker, (2003), Review On Porous Concrete In Europe, *Symposium On Design and Practical Method Of porous Concrete, JCI TC-013A*, 8th May 2003, Tokyo.
- Dipohusodo, I, (1996), *Struktur Beton Bertulang*, Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Fassman E., (2009), *Green Roof flourishing*, INGENIO The University Of Auckland Alumni Magazine.
- Hariyadi, M.W. Tjaronge, R. Djamaluddin, A.M. Akkas, (2010), Experimental Study on Slump Flow and Compressive Strength of Self Compacting Concrete Containing Tailing and Portland Composite Cement, *Proceeding of the First Makassar International Conference on Civil Engineering*, 491-494, Makassar-Indonesia.
- J. Rezaeepazhand and M. Jafari, (2005), Stress Analysis Of Perforated Composite Plates, *Composite Structures*, Vol. 71, 463-468.
- Jamal, Mardewi (2006), *An Analysis Of The flexural Strength Of concrete Slabs With Various Reinforcing-Bar Spacing*, PPs Unhas.
- M.W. Tjaronge, Bambang B., Arifuddin and Dahlia P., (2010), Experimental Study on Tensile Strength of Porous Concrete Containing Portland Composite Cement, *Proceeding of the First Makassar International Conference on Civil Engineering*, 282-285, Makassar-Indonesia.
- Mark Adom-Asamoah, Charles K. Kankam (2009), Flexural behaviour of one-way concrete slabs reinforced with steel bars milled from scrap metals, *Materials and Design*, Vol. 30, 1737-1742.
- Mardiana Oesman (2005), *Perilaku Panel Pracetak Sandwich Beton Normal-Ringan-Normal Terhadap Beban Lateral In-Plane*, Institut Teknologi Bandung.
- Margasari, Indarti (2009), *Studi Stress Wave Propagation Pada Plat Berlapis Arah Longitudinal Dengan Metode Photoelastisitas*, Institut Teknologi Surabaya.
- McCormac, Jack C, (2001), *Design of Reinforced Concrete*, John Wiley & Sons, California.
- Muhammad Wihardi Tjaronge, (2007), Compressive strength and elasticity modulus of porous concrete containing portland pozzolan cement, *Proceeding of The 1st International Conference of EACEF (European Asian Civil Engineering Forum)*, pp.D85—D90, Universitas Pelita Harapan, Jakarta.
- National Concrete Pavement Technology Center, (2006), *Mix Design Development For Pervious Concrete in Cold Weather Climates*, Iowa State University.
- Nawy, E. G. (1998), *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Refika Aditama, Bandung.
- Neville A.M., (1995), *Properties of Concrete*, Prentice Hall.
- Nugraha P. Dan Antoni, (2007), *Teknologi Beton*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Okamura, H. and Ouchi, M (2003), Self Compacting Concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology* Vol.1, No. 1,5 – 15 April 2003.
- Ryoji Honda, Hiroyuki Mizuguchi, Koji Nishikawa and Keiko Ishimaru, (2006), Mechanical properties and resistance to wetting and drying of porous concrete using various material, *The Tenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, August 3-5, 2006, Bangkok, Thailand, pp.317-322.
- SNI 15-7064-2004, *Semen Portland Komposit*, Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Sung-Bum Park and Mang Tia, (2004), An experimental study on the water-purification properties of porous concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, 177-184.
- Szilard, Rudolph (1989), *Teori dan Analisis Pelat*, Metode Klasik dan Numerik, Terjemahan Ir. Wira, MSCE, Erlangga, Jakarta.
- TecEco Pty. Ltd (2008), *Percious Concrete and Pavement*.
- Umar (2006), *Analisis Lentur Pelat Beton Serat Pracetak Dengan Variasi Jarak Tulangan*, PPs Unhas.
- Zoran, Grdic, et al, (2008), Properties of Self Compacting Concrete with Different Types of Additives, *Facta Universitatis series: Architecture and Civil Engineering* vol.6, No.2: Serbia.