

KUAT TEKAN AKSIAL KOLOM PENDEK TERKEKANG PENAMPANG PERSEGI DIPERKUAT SERAT BAJA

Bambang Sabariman

Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Negeri Surabaya
Email: bambangsabariman@unesa.ac.id

ABSTRACT

Confinement in concrete can increase ductility and compressive strength of the column (P_0). While the use of steel fibre can also increase the ductility of concrete. In this study, the steel fibres as an additive in concrete short columns confined, and short columns were given concentric axial loads until they reach collapse. The results showed that the use of steel fibres in concrete can increase P_0 . The compressive strength (P_0) of a confined short column without steel fibre was 52.06 ton to 63 ton, while on a short column with steel fibre was 57.68 ton to 69.28 ton. Those indicated that concrete short columns with steel fibres can increase the compressive strength, but in this study, the effect of the A_{st} (column longitudinal reinforcement area) has not yet.

Keywords: *Compressive strength, Confined, Short column, Steel fiber.*

ABSTRAK

Kekangan pada beton dapat meningkatkan daktilitas dan kuat tekan kolom (P_0), sedangkan pemakaian serat baja (*steel fiber*) juga dapat meningkatkan daktilitas beton. Dalam penelitian ini serat baja sebagai bahan tambah pada beton kolom pendek terkekang, dan kolom pendek dibebani gaya aksial konsentris sampai mencapai runtuh. Hasilnya menunjukkan bahwa pemakaian serat baja pada beton terkekang dapat lebih meningkatkan P_0 . Kuat tekan P_0 pada kolom pendek terkekang tanpa serat baja didapat 52.06 ton sampai dengan 63 ton, sedang pada kolom pendek terkekang memakai serat baja didapat 57.68 ton sampai dengan 69.28 ton. Hal ini menunjukkan bahwa kolom pendek beton terkekang dan diperkuat serat baja dapat meningkatkan kuat tekan kolom pendek, tetapi dalam penelitian ini kuat tekan kolom pendek belum mengamati pengaruh pemakaian A_{st} (luas tulangan longitudinal kolom).

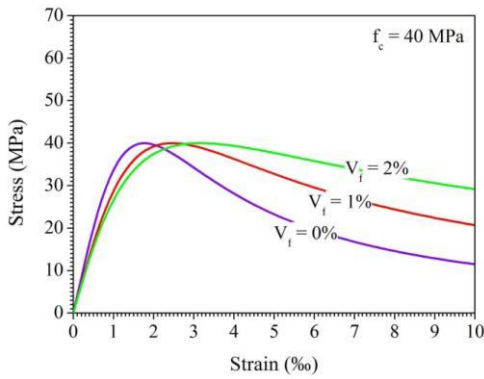
Kata kunci: Kuat tekan, Pengekangan, Kolom pendek, Serat baja.

PENDAHULUAN

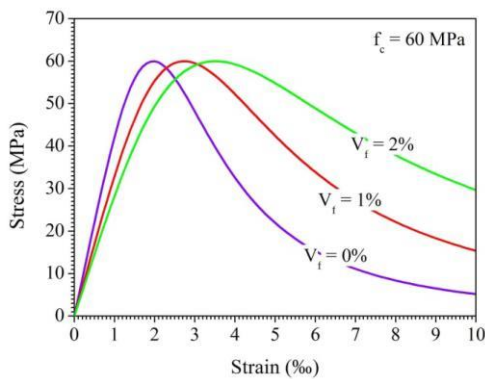
Pemanfaatan bahan tambah atau material pada beton diharapkan meningkatkan performa beton, baik dalam rangka meningkatkan kuat geser, kuat lentur dan kuat tarik beton. Penambahan serat baja (*steel fiber*) pada beton adalah salah satu upaya tersebut di atas. Pemanfaatan serat pada beton telah lama dilakukan. Terkait dengan pemanfaatan serat pada beton, beberapa penelitian telah dilakukan, antara lain: Ezeldin (1992), Someh & Saeki (1996), Nataraja, MC; Dhang, N; & Gupta, A.P. (1999), Dhakal, R.P; Wang, C & Mander, J.B. (2005), Bencardino et al (2008), Wang et al. (2008), Oliveira, J. et al. (2010), Ou, Y-C. et al. (2012) dan banyak lagi lainnya. Penelitian Oliveira (2010) menarik untuk disimak karena mendapatkan kuat tekan beton berserat

dengan volumetrik serat $V_f = 2\%$ dan tanpa serat tidak menunjukkan perbedaan pada kuat tekannya, tetapi dengan adanya serat daktilitas beton meningkat. Penelitian Oliveira pada beton berserat dan tanpa serat yang mendapatkan kuat tekan yang sama, ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan gaya tekan pada benda ujinya (P) atau kuat tekan aksial konsentrisnya (P_0) juga sama.

Gallo-Arciniegas et al. (2013) menyatakan bahwa teori Oliveira et al. dikembangkan berdasarkan teori Ezeldin et al. (1992). Penelitian Oliveira ini menggunakan kuat tekan beton berkisar $f'_c = 40$ MPa dan 60 MPa dengan volumemetriik serat baja sebesar 0%, 1% dan 2%, hasil penelitiannya sebagai berikut:



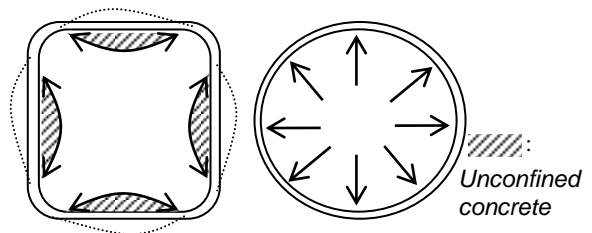
(a) Mutu beton $f_c = 40$ MPa



(b) Mutu beton $f_c = 60$ MPa

Gambar 1. Tegangan-regangan beton berserat. (Sumber: Oliveira et al, 2010).

pecah (*splitting*) beton, jika ini terjadi akan mempengaruhi daktilitas beton bertulang. Penampang yang diberi tulangan melintang (transversal), berbentuk sengkang persegi, bulat atau spiral akan meningkatkan kekuatan serta daktilitas beton. Sengkang bulat atau spiral memberikan gaya kekangan (*confined*) yang lebih baik daripada sengkang persegi. Lilitan sengkang spiral memberikan gaya kekang yang baik di sekeliling penampang, sedangkan sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut karena tekanan pada sisi sengkang ini cenderung membengkokkan bagian ujung sengkang ke arah luar, namun demikian sengkang persegi masih dapat memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas pada beton yang dikekang.



Gambar 2. Pengekangan dengan tulangan persegi dan spiral

(Sumber: Park, R. & Paulay, T., 1975)

$$\sigma_c = f'_c \left[\frac{\beta \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^\beta} \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$\beta = (0,0536 - 0,5754.V_f) f'_c \dots \dots \dots (2)$$

$$\epsilon_{co} = (0,00048 + 0,01886.V_f) \ln f'_c \dots \dots \dots (3)$$

dimana: σ_c = compressive stress/tegangan beton (MPa), f'_c = compressive strength/kuat tekan beton (MPa), ϵ_c = regangan beton, ϵ_{co} = puncak regangan beton, β = persamaan yang berkorelasi dengan fraksi volumetrik serat (*fiber*), V_f = volumetrik serat (*fiber*).

Pengekangan beton dapat berupa sengkang berbentuk persegi atau bulat, yang berfungsi untuk mengurangi bahaya

Peraturan Pasal 10 SNI 2847:2013 merumuskan perhitungan kuat beban aksial konsentris maksimal pada kolom yang memakai sengkang persegi adalah $\phi P_{n(max)} = 0,80 \cdot \phi \cdot [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$ sedang untuk kolom yang memakai sengkang spiral adalah $\phi P_{n(max)} = 0,85 \cdot \phi \cdot [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$. Nilai $0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$ sebenarnya adalah nilai P_0 kolom pada kekuatan batasnya, dan P_0 adalah kekuatan aksial nominal kolom dengan eksentrisitas nol ($e=0$), dimana f'_c adalah kuat tekan silinder beton, A_g = luas bruto penampang kolom, A_{st} = luas total penampang tulangan memanjang kolom. Dalam rumus tersebut nilai f'_c belum membedakan f'_c beton konvensional atau f'_c beton berserat. Terlihat pula bahwa

dalam SNI 2847:2013 belum menyinggung pengaruh penggunaan kekangan dan serat baja terhadap kekuatan P_0 kolom pendek, sehingga menimbulkan pertanyaan: bagaimana pengaruh penggunaan kekangan dan serat baja terhadap kekuatan P_0 ? Apakah masih akurat perumusan $P_0 = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$ bila diterapkan pada kolom terkekang dan beton berserat baja?.

Beberapa penelitian beton berserat tersebut di atas belum memasukkan parameter kekangan. Untuk itu diadakan penelitian pada kolom pendek beton berserat dan terkekang tanpa memakai tulangan longitudinal, hal ini diharapkan untuk melihat kontribusi murni/peran dari serat dan kekangan. Berdasarkan uraian di atas, maka dirumuskan hal sebagai berikut: apakah rumus $P_0 = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$ tetap akurat apabila diterapkan pada beton terkekang dan berserat baja?.

Kolom didefinisikan (Wang & Salmon, 1994) sebagai unsur yang diperuntukkan khusus untuk memikul beban aksial tekan vertikal tetapi dapat juga menerima beban lentur (momen). Kolom dibedakan dalam dua tipe yaitu kolom pendek dan kolom panjang/langsing, dimana kolom langsing harus mempertimbangkan bahaya tekuk. Makin langsing/panjang suatu kolom maka makin besar tambahan eksentrisitas yang harus diberikan (e_1) pada eksentrisitas awalnya (e_0). Bila kolom dianggap sebagai kolom pendek maka kolom tersebut untuk mencapai kekuatan batasnya tidak perlu memperhitungkan/diamankan terhadap adanya bahaya tekuk.

Ukuran untuk menentukan kolom pendek adalah berdasarkan nilai kelangsingan yang dinyatakan oleh $\frac{k \cdot l_u}{r}$, dimana r adalah radius girasi penampang kolom yang ditinjau, sedang k adalah faktor jepitan ujung atas dan ujung bawah kolom (k dicari dengan bantuan *alignment chart*). Hanya sebagai ilustrasi nilai k dapat

diambil: untuk kolom *braced frame* $k \leq 1$, kolom *unbraced frame* $k \geq 1$, tetapi nilai k ini seharusnya berdasarkan nilai dari bantuan *alignment chart*. Secara terinci pengaruh kelangsingan ditentukan oleh:

- Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan bila:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 22 \dots\dots\dots (4)$$

- Untuk komponen struktur tekan yang di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan bila:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \dots\dots\dots (5)$$

Menurut SNI 2847:2013 dapat dikatakan sebagai struktur tekan jika:

1. Mempunyai gaya tekan aksial:
 $P > 0,10 \cdot A_g \cdot f'_c \dots\dots\dots (6)$
2. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi yang tegak lurus padanya tidak boleh kurang dari 0,4
3. Panjang efektif dari komponen struktur tekan:
 - Untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, faktor panjang efektif k harus diambil sama dengan 1,0; kecuali bila analisis menunjukkan bahwa suatu nilai yang lebih kecil boleh digunakan.
 - Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, faktor panjang efektif k harus ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh dari keretakan dan tulangan terhadap kekakuan relatif, dan harus lebih besar dari 1,0.
4. Radius girasinya sesuai dengan batasan sebagai berikut: ada komponen struktur tekan persegi,

radius girasi r boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, dan sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lainnya, r boleh dihitung dari penampang beton *bruto*.

METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi rumus $P_0 = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$ jika diterapkan pada kolom pendek beton terkekang dan berserat baja (*steel fiber*). Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi/manfaat atau informasi pada SNI 2847:2013 dalam penentuan P_0 untuk kolom beton terkekang dan berserat baja. Untuk memperjelas arah penelitian maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

- Rencana/target beton mutu normal $f'_c = 22,50$ MPa.
- Serat baja yang dipakai Dramix 3D, dengan volumetrik serat baja sebesar 2% sesuai dengan penelitian Oliveira, J. et al. (2010).
- Volumetrik sengkang A_{sh} sesuai dengan SNI 2847:2013.
- Dipakai sengkang persegi memakai besi polos $\phi 6$ mm, jarak sengkang bervariasi, variasi ini akan menentukan nilai Z_m .
- Kolom berbentuk persegi berdimensi (150x150x300) mm.
- Kolom telah diamankan dari bahaya tekuk, didapat nilai $\frac{k \cdot l_u}{r} = 6,67$, nilai ini sudah lebih kecil dari 22.
- Benda uji kolom adalah kolom pendek yang diberi beban konsentris tanpa eksentrisitas ($e = 0$).
- Tidak memakai tulangan longitudinal, karena tidak mengamati perilaku tekuk kolom, dan untuk meneliti kontribusi murni kekangan pada inti beton serta penggunaan *steel fiber* (SF).
- Nilai kekangan beton pada penelitian ini memakai teori Kent & Park *Modified* (Scott, 1982), nilai kekangan tersebut

terekpresi dalam nilai kekangan Z_m . Semakin kecil nilai Z_m maka semakin baik kekangan yang diberikan pada beton. Nilai Z_m tersebut sebagai berikut:

$$Z_m = \frac{0,625}{\left[\frac{3 + 0,29 \cdot f'_c}{145 \cdot f'_c - 1000} \right] + \frac{3}{4} \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\frac{b''}{s_h}} - 0,002 \cdot K} \dots (7)$$

$$\text{Nilai } K = 1,25 \left(1 + \frac{\rho_s \cdot f_{yh}}{f'_c} \right) \dots (8)$$

dimana: Z_m = nilai kekangan beton (*Kent-Park modified*), K = faktor pengali, ρ_s = rasio volumetrik tulangan sengkang terhadap inti beton terkekang yang diukur dari sisi luar ke sisi luar sengkang, s_h = spasi dari garis tengah/pusat ke garis tengah/pusat sengkang (mm), f_{yh} kuat leleh tulangan sengkang (MPa), dan f'_c kuat tekan beton (MPa), b'' = dimensi penampang inti beton terkekang yang diukur dari sisi luar ke sisi luar sengkang (mm).

- Uji tekan benda uji sampai mencapai runtuh (*inelastic*), uji ini dilakukan di Lab. Beton Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Negeri Surabaya (Unesa).

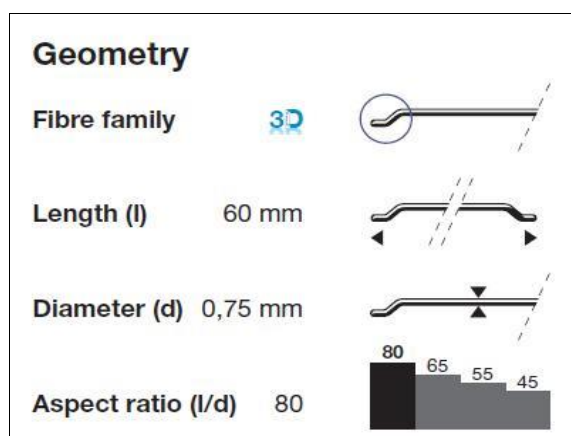
Berdasarkan pemeriksaan agregat beton semuanya telah memenuhi syarat [ASTM], tetapi karena pembuatan beton berada ditempat yang relatif panas maka adukan beton ditambah *retarder*, karena juga memakai serat baja maka campuran beton ditambah *superplastizier* (SP), pemakaian SP ini diharapkan dapat mempermudah *workability*. Pembuatan beton dibuat berdasarkan bantuan dari PT.SCG Jaya Mix Surabaya, baik *mix design*, material maupun peralatannya.

Tabel 1. *Mix design*

Material	Volume: 0,035 M ³
Semen	7,21 kg
<i>Fly ash</i> dari Paiton	3,08 kg
<i>Aggregate</i> (4,75-12,5)mm	8,05 kg
<i>Aggregate</i> (12,5-25)mm	31,15 kg
Pasir Normal	14,00 kg
Pasir Halus	14,00 kg

Material	Volume: 0,035 M ³
Air PDAM Surabaya	5,60 kg
Retarder 0,5%	36,05 ml
Superplastizier	36,05 ml
Volumetrik fiber (V _f)	2% ≈ 4,44 kg

(Sumber: mix design dari PT.SCG Jaya Mix Surabaya).



Gambar 3. Bentuk fisik serat baja yang digunakan pada penelitian ini, *tensile strength* $R_{m,nom}=1225 \text{ N/mm}^2$; *tolerances* $\pm 7.5\% \text{ Avg}$; *Young's modulus* $\pm 210000 \text{ N/mm}^2$ (Sumber: Brochure Dramix).

Analisis teoritis dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter yang relevan untuk memprediksi perilaku benda uji yang berupa kolom pendek, dengan membebani kolom tersebut dengan beban mulai dari nol sampai mencapai kekuatan batasnya (runtuh). Kemudian perilaku ini dibandingkan dengan hasil eksperimen, sedangkan kegiatan eksperimental di laboratorium antara lain sebagai berikut:

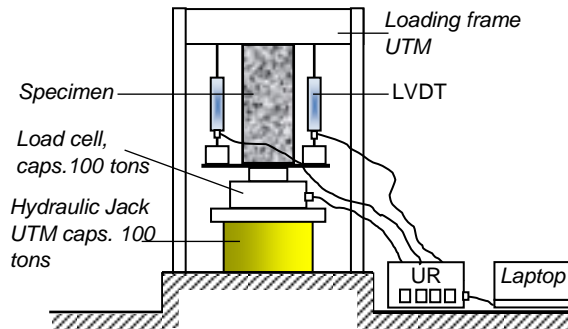
- Melakukan uji tekan silinder beton untuk mendapatkan nilai f'_c .
- Melakukan uji tekan benda uji kolom pendek dengan memberi beban konsentris dan bersifat *static monotonic* sampai mencapai runtuh, dari pengujian ini akan diperoleh besarnya nilai P_0 .
- Membandingkan besar P_0 pada benda uji terkekang memakai serat baja dan tanpa serat baja.

- Melakukan pembahasan pengaruh serat baja terhadap kuat beban aksial nominal konsentris.

Uraian singkat langkah-langkah pengujian benda uji di laboratorium dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Melakukan penelitian tentang bahan (agregat) untuk beton mutu normal yang harus memenuhi syarat ACI & ASTM kemudian membuat rencana *mix design*, tetapi *mix design*, material dan peralatan beton mendapat bantuan secara penuh dari salah satu perusahaan penyedia beton PT.SCG Jaya Mix di Surabaya.
- Melakukan uji mutu/tarik baja yang akan digunakan untuk kekangan transversal, menggunakan UTM kapasitas 600 kN.
- Membuat benda uji silinder beton $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ dan membuat benda uji kolom beton pendek berbentuk persegi ukuran $(150 \times 150 \times 300) \text{ mm}$. Setiap pencampuran adukan beton diperuntukkan untuk benda uji silinder beton dan benda uji kolom pendek.
- Setelah proses pengecoran (benda uji berumur 24 jam) bekisting dibuka, kemudian diadakan perawatan (direndam) selama 28 hari
- Setelah direndam 28 hari, semua benda uji diangkat dan dibiarkan sampai mencapai kering udara dan siap diadakan uji tekan. Uji tekan silinder beton hanya sampai pada P_{maks} , sedang uji kolom pendek sampai mencapai runtuh, dari pengujian ini akan mendapatkan data sebagai dasar perhitungan P_0 . Uji Kuat tekan beton memakai uji tekan silinder memakai *universal testing machine* (UTM) kapasitas 1000 kN. Sedang uji tekan kolom pendek juga memakai UTM tersebut namun digabung dengan alat *universal recorder* (UR).

- Set up pengujian sebagai berikut:



Gambar 4. Skematik set up benda uji, LVDT = linier variable displacement transformer

Tabel 2. Rincian benda silinder beton

Benda Uji	ϕ (mm)	H (mm)	V_f serat baja	f_c target (MPa)
C ₁	150	300	0	22,5
C ₂	150	300	0	22,5
C ₃	150	300	2%	22,5
C ₄	150	300	2%	22,5

(Sumber: hasil perhitungan)

Keterangan: C_{wF1&2} = silinder beton tanpa SF.

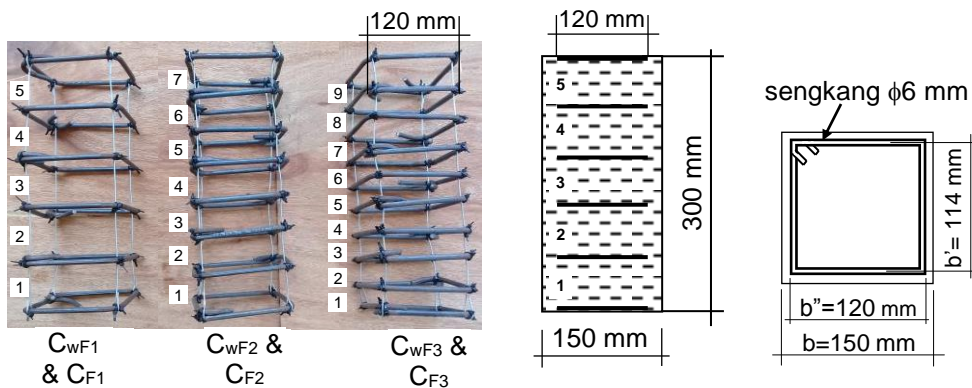
C_{3&4} = silinder beton memakai SF.

Tabel 3. Rincian benda uji kolom persegi

Benda Uji	b = h (mm)	L (mm)	Senggang persegi		V_f serat baja	f_c target (MPa)	f_{yh} (MPa)	A_{sh-1} (syarat)	A_{sh-2} (syarat)	$A_{sh-terpasang}$	Z_m
			ϕ (mm)	s_h (mm)							
C _{wF1}	150	300	6	52	0	22,5	457	51,843	27,649	56,52	29,165
C _{wF2}	150	300	6	36	0	22,5	457	35,891	19,142	56,52	17,260
C _{wF3}	150	300	6	27	0	22,5	457	26,918	14,356	56,52	11,342
C _{F1}	150	300	6	52	2%	22,5	457	51,843	27,649	56,52	29,165
C _{F2}	150	300	6	36	2%	22,5	457	35,891	19,142	56,52	17,260
C _{F3}	150	300	6	27	2%	22,5	457	26,918	14,356	56,52	11,342

(Sumber: hasil perhitungan)

Keterangan: C_{wF} = benda uji terkekang (*confined*) tanpa SF, C_{Fn} = benda uji terkekang (*confined*) memakai SF, s_h = jarak senggang (pengekekangan).



Gambar 5. Detail tulangan senggang kolom pendek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa rancangan penelitian seperti uji tarik baja sengkang, uji tekan silinder beton (tanpa & memakai *steel fiber*) serta benda uji kolom terkekang (tanpa & memakai *steel fiber*), yang telah dilakukan tes di Lab. Beton JTS FT Unesa, hasilnya sebagai berikut:

1. Hasil kuat tarik sengkang $\phi 6$ mm didapat $f_{yh} = 457$ MPa, nilai ini kemudian dimasukkan dalam perhitungan nilai Z_m .
2. Mutu beton didasarkan pada uji tekan pada silinder beton tanpa serat baja yang telah berumur 28 hari didapat $f'_c = 23,09$ MPa, nilai ini sedikit di atas f'_c target yaitu $f'_c = 22,5$ MPa, tetapi nilai ini tidak melampaui batas perbedaan antara f'_c terhadap f'_c target sebesar 3,5 MPa. Sebagai pembanding dicoba uji tekan pada silinder beton memakai serat baja yang telah berumur 28 hari didapat $f'_c = 23,26$ MPa. Hasil ujinya ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. Kuat tekan silinder beton tanpa serat baja

Benda uji	f'_c (MPa)
C ₁	23,08
C ₂	23,11
Rerata	23,09

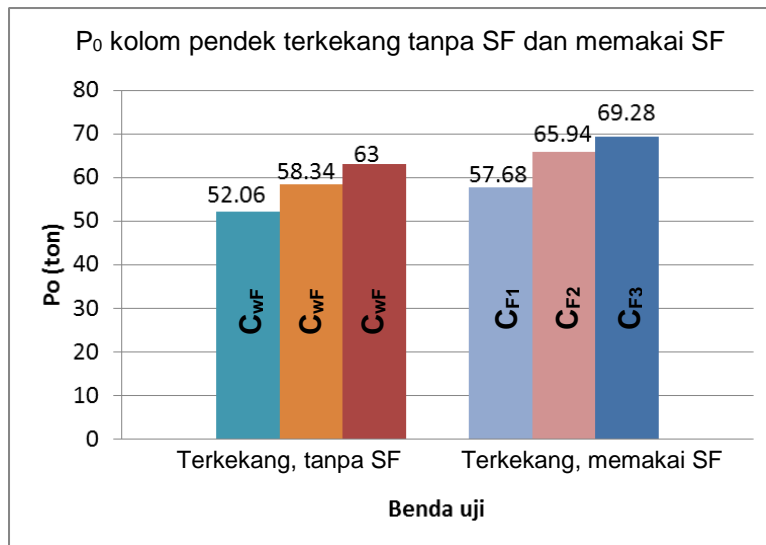
(Sumber: hasil tes, $C_n = \text{cylinder ke } n$)

Tabel 5. Kuat tekan silinder beton memakai serat baja

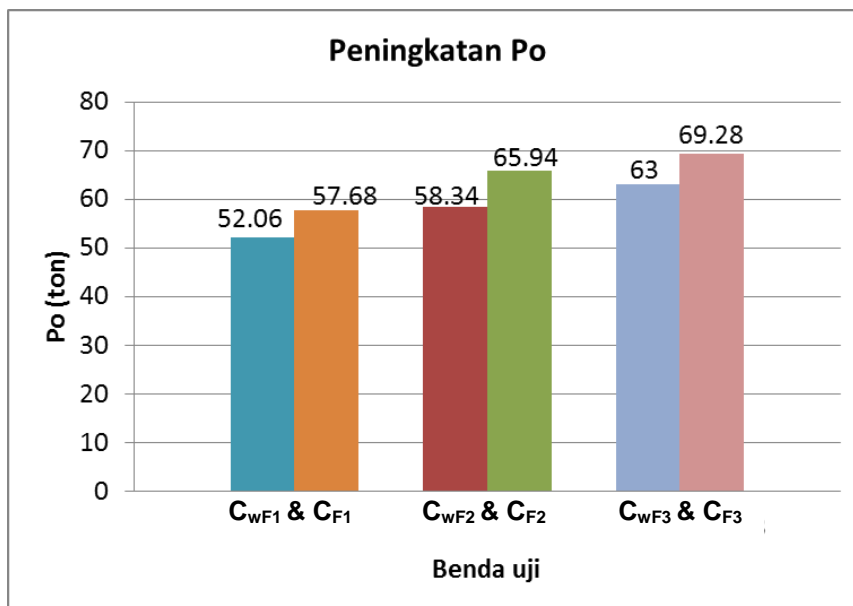
Benda uji	f'_c (MPa)
C ₃	23,10
C ₄	23,43
Rerata	23,26

(Sumber: hasil tes, $C_n = \text{cylinder ke } n$)

3. Kontrol nilai $P_{0\text{-teoritis}}$, nilai ini didasarkan pada rumus $P_{0\text{-teoritis}} = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$, nilai kuat tekan beton didasarkan hasil penelitian $f'_c = 23,06$ MPa, $A_g = 22.500$ mm², dan $A_{st} = 0$. Penetapan nilai A_{st} tersebut berdasarkan pertimbangan seperti yang telah diterangkan sebelumnya yaitu untuk mengetahui kontribusi murni dari kekangan beton serta serat baja pada kuat tekan aksial konsentris P_0 . Nilai $P_{0\text{-teoritis}}$ tersebut didapat sebagai berikut: jika angka reduksi diambil 0,85, maka $P_{0\text{-teoritis-0,85}} = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} = 0,85 \times 23,09 \times (22.500 - 0) + 0 = 44,16$ ton, jika angka reduksi diambil sebesar 1,00 maka didapat $P_{0\text{-teoritis-1}} = 1,00 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} = 1,00 \times 23,09 \times (22.500 - 0) + 0 = 51,95$ ton.
4. Hasil eksperimen kuat tekan aksial konsentris P_0 , berdasarkan hasil uji di laboratorium didapat seperti gambar berikut ini:

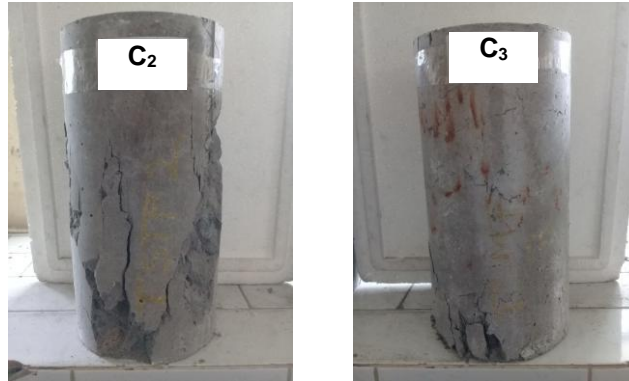


Gambar 6. Kuat tekan aksial konsentris P₀ beton terkekang tanpa serat baja (*steel fiber*) dan memakai serat baja (*steel fiber*), (sumber: hasil perhitungan)

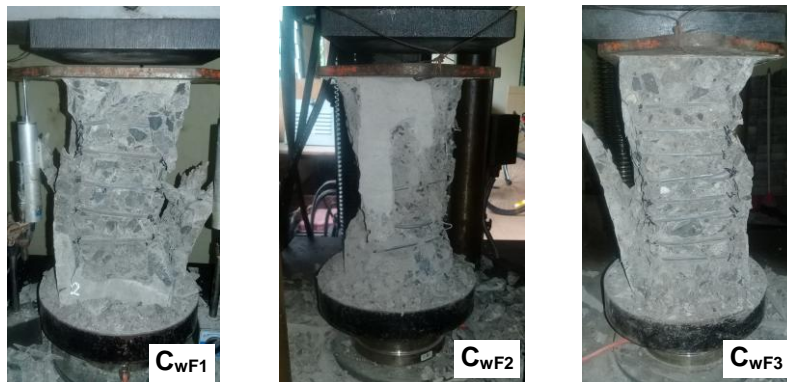


Gambar 7. Peningkatan Kuat tekan aksial konsentris P₀ beton terkekang tanpa serat baja (*steel fiber*) dan memakai serat baja (*steel fiber*), (sumber: hasil perhitungan)

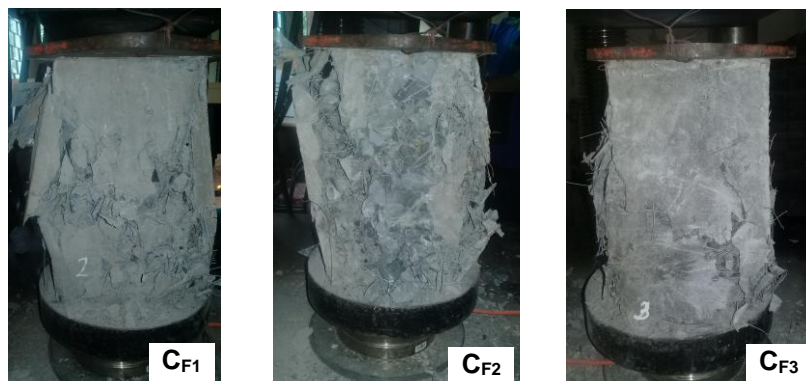
5. Pola retak silinder beton dan benda uji kolom pendek



Gambar 8. Pola retak silinder beton tanpa serat baja (C₂) dan memakai serat baja (C₃)



Gambar 9. Pola retak kolom terkekang tanpa serat baja



Gambar 10. Pola retak kolom terkekang memakai serat baja

Pola retak silinder beton tanpa serat baja (C_2) dan memakai serat baja (C_3) memperlihatkan bahwa antara beton tanpa serat baja maupun yang memakai serat baja, retakannya tidak jauh berbeda, hal ini menunjukkan bahwa kekuatan gaya lateral kesamping akibat gaya tekan aksial konsentris adalah sama, sehingga wajar jika hasil uji f'_c beton tanpa serat baja maupun memakai serat baja, menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Hal ini sesuai dengan penelitian Oliveira, et al. (2010), dimana hasil penelitian Oliveira menunjukkan tidak ada perbedaan f'_c antara beton tanpa serat baja maupun memakai serat baja.

Nilai P_0 pada benda uji C_{WF1} , C_{WF2} , C_{WF3} , C_{F1} , C_{F2} dan C_{F3} jika diamati sudah bisa diterima karena nilainya lebih tinggi jika dibandingkan nilai $P_{0\text{-teoritis-0,85}}$ maupun $P_{0\text{-teoritis-1}}$, sebab telah diperkuat dengan kekangan dan memakai serat baja. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa akibat adanya pemakaian kekangan semakin meningkatkan kemampuan P_0 , dimana benda uji dengan $Z_m = 29,165$ didapat $P_0 = 52,06$ ton, $Z_m = 17,260$ didapat $P_0 = 58,34$ ton dan $Z_m = 11,342$ didapat $P_0 = 63$ ton, hal ini sesuai dengan hasil penelitian Kent & Park (1975) yang menyatakan bahwa semakin kecil nilai Z_m akan semakin meningkatkan kemampuan beton, yang dimaksud dalam penelitian ini adalah gaya aksial tekan. Namun perlu dicermati bahwa penelitian ini mengamati pemakaian kekangan dan pemakaian serat baja sekaligus. Hasilnya menunjukkan:

- Benda uji dengan $Z_m = 29,165$ tanpa serat baja didapat $P_0 = 52,06$ ton, setelah ditambah serat didapat $P_0 = 57,68$ ton.
- Benda uji dengan $Z_m = 17,260$ tanpa serat baja didapat $P_0 = 58,34$ ton, setelah ditambah serat didapat $P_0 = 65,94$ ton.
- Benda uji dengan $Z_m = 11,342$ tanpa serat baja didapat $P_0 = 63$ ton, setelah ditambah serat didapat $P_0 = 69,28$ ton.

Pemakaian kekangan dan pemakaian serat baja, ternyata secara langsung dan bersama-sama dapat meningkatkan kemampuan inti kolom beton dalam menerima gaya aksial tekan, sebab kekangan ini pada dasarnya dapat meningkatkan kekuatan inti kolom beton sedangkan serat baja dapat meningkatkan kemampuan tarik beton. Dengan demikian jika kedua-duanya bekerja secara bersama-sama, maka dapat meningkatkan kemampuan inti kolom pendek beton terkekang.

Kolom yang menerima beban aksial konsentris dalam prakteknya dapat dikatakan tidak ada (Tim ITS, 1989). Karena itu walaupun dalam perencanaan secara teoritis beban kolom tersebut dianggap konsentris ($e = 0$), namun PB'89 Pasal 10.3.5 (dalam Tim ITS, 1989) mengatur bahwa kolom hanya boleh menerima P_{maks} . Batas maksimum ini diidentikkan dengan eksentrisitas $e_{maks} = 0,10.h$ (kolom bersengkang), $e_{maks} = 0,05.h$ (kolom berspiral). Ini berarti pada kolom pendek, bila eksentrisitas $e \leq e_{min}$ kekuatan kolom hanya boleh sebesar P_{n-maks} , seperti juga batasan yang diberikan oleh SNI 2847:2013.

SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas teramati bahwa kekangan dan serat baja secara bersama-sama dapat berkontribusi meningkatkan kemampuan inti kolom beton dalam menerima gaya tekan aksial konsentris P_0 , sehingga perumusan SNI 2847:2013 terkait P_0 dalam hal ini sudah sangat akurat. Meskipun demikian kemampuan tekan aksial ini sebenarnya masih bisa ditingkatkan lagi dengan memperhitungkan kontribusi tulangan longitudinal sebesar A_{st} , sedang besaran A_{st} harus bersesuaian dengan ρ pada

Pasal 10.9.1 SNI 2847:2013 adalah sebesar $1\% \leq \rho \leq 8\%$.

DAFTAR RUJUKAN

- Anonimous. 2013. *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Bencardino, Francesco., Rizzuti, Lidia., Spadea, Giuseppe and Swamy, Ramnath N. 2008. *Stress-Strain Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete in Compression*. Journal Of Materials In Civil Engineering ASCE, March 2008, pp. 255-263.
- Brochure Concrete Steel Fiber Dramix 5D4D3D Dramix, Bekaert, *Reinforcing the Future*. sfwong111@gmail.com.
- Dhakal, R. P., Wang, C., and Mander, J. B. 2005. *Behavior of Steel Fibre Reinforced Concrete in Compression*. UC Research Repository, University Library, University of Canterbury. <http://hdl.handle.net/10092/4408>.
- Ezeldin, A. S.; and Balaguru, P. N. 1992. *Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete under Compression*. J. Mater. Civ. Eng., 4(4), pp. 415-429.
- Gallo-Arciniegas et al. 2013. *Behavior of Concrete Steel Fiber Reinforced ZP-306 Under Compression Stress*. Scien. Ing. Neograd. vol. 23 no.1, ISSN 0124-8170, Bogota Jan./June 2013.
- Nataraja, M. C., Dhang, N., and Gupta, A. P. 1999. *Stress Strain Curve for Steel-Fiber Reinforced Concrete under Compression*. Cem. Concr. Compos., 21, pp. 383-390, 1999.
- Oliveira, Luiz Álvaro., Borges, Vanessa Elizabeth dos Santos., Danin, Alice Ribeiro., Machado, Daiane Vitória Ramos., Araújo, Daniel de Lima., El Debs, Mounir Khalil., and Rodrigues, Paulo Fernando. 2010. *Stress-strain Curves for Steel Fiber-Reinforced Concrete in Compression*. Revista Materia Vol 15 No 2, pp.260-266.
- Ou, Yu-Chen., Tsai, Mu-Sen., Liu, Kuang-Yen., and Chang, Kuo-Chun. 2012. *Compressive Behavior of Steel-Fiber-Reinforced Concrete with a High Reinforcing Index*. Journal of Materials in Civil Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), Feb. 2012, pp. 207-215.
- Park, R. and Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Scott, B. D., Park, R. and Priestley, M.J.N. 1982. *Stress-Strain Behaviour of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates*. Journal American Concrete Institute, 79, pp. 13-27.
- Someh, Abdullah Keyvani and Saeki, Noboru. 1996. *Prediction for the Stress-Strain Curve of Steel Fiber Reinforced Concrete*. Transactions of the Japan Concrete Institute Vol 18.
- Tim ITS. 1989. *Perhitungan Konstruksi Beton Bertulang berdasarkan Pedoman Beton 1989*. Surabaya:

Kuat Tekan Aksial ... (Bambang/ hal 1-12)

Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS
Surabaya.

Wang, Chu-Kia and Salmon, Charles G.
.1994. *Disain Beton Bertulang*,
Binsar Hariandja, Penterjemah.
Jakarta: Erlangga.

Wang, Zhi-Liang., Liu, Yong-Sheng and
Shen R.F. 2008. *Stress-strain
Relationship of Steel Fiber-
reinforced Concrete under Dynamic
Compression*. Construction and
Building, pp. 811–819.