

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KONFIGURASI SENGKANG PADA DAERAH TEKAN BALOK BETON SERAT BERTULANG

Muchtar Sufaat, Dian Adhitya Pratama, Purwanto^{*)}, Parang Sabdono^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Beton memiliki sifat kuat tekan yang tinggi, namun semakin tinggi kuat tekan beton sifat keruntuhanannya semakin getas. Beberapa metode untuk perbaikan sifat tersebut antara lain adalah menambahkan serat baja sebagai campuran beton dan melakukan pengekangan pada daerah tekan beton. Penelitian ini menyajikan studi lebih lanjut mengenai pengaruh dari penggunaan serat baja sebesar 0.5% dari volume beton dan mengevaluasi balok beton serat dengan tiga konfigurasi sengkang (BF1, BF4, BF5) di daerah tekan balok. Pengujian menggunakan metode uji lentur murni dengan pembebanan 2 titik pada balok tumpuan sederhana. Variasi konfigurasi sengkang dilakukan pada daerah lentur murni balok. Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini, penambahan fiber pada campuran beton meningkatkan kuat tekan silinder beton sebesar 11,96%, kapasitas lentur pada BF4 meningkat 0,96% namun balok BF5 menurun 4,10% terhadap BF1, kekakuan balok pada benda uji BF4 meningkat sebesar 132,64% dan balok BF5 meningkat sebesar 25,44%, dan daktilitas juga menunjukkan bahwa balok BF4 meningkat sebesar 148,01% dan balok BF5 meningkat sebesar 3,97%.

kata kunci : pengekangan, serat baja, beton serat, kekakuan, daktilitas

ABSTRACT

Concrete has relatively high compressive strength, in other hand higher concrete compression give more brittle of failure. There are several methods for improvement such as addition steel-fiber in concrete mix and confinement in the compression zone. This study present a further study on the influence of addition 0.5% steel-fiber of concrete volume to concrete mix and three specimen fiber concrete beams ware evaluated with three stirrup configuration (BF1, BF4, BF5) that concentrated in the compression zone. The study's analyze using a pure beding test with 2 point load of a simply supported beam. The variation of stirrup configuration concentrated at pure beding moment zone of beam. The result of this study, the addition of steel-fibers to the concrete mix increased the cylinder compression strength by 11,96%, The moment capacity of BF4 increased by 0,96% compered to BF1 in other hand the specimen BF5 reduce by 4,1% compered to BF1, The Stiffnes of BF4 increased 132,64% and BF5 increased by 25,44% compared to BF1, The Ductility of specimen BF4 increased by 148,01% and BF5 increased by 3.97% compared to BF1.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

keywords: *confinement, steel-fiber, fiber concrete, stiffnes, ductility*

PENDAHULUAN

Semakin tinggi mutu beton semakin besar kemampuan beton untuk menahan suatu beban, akan tetapi semakin kecil kemampuan beton untuk berdeformasi. Hal ini karena beton dengan mutu tinggi mempunyai kondisi regangan yang kecil sehingga bersifat getas (*brittle*). Salah satu cara untuk memperbaiki sifat material beton mutu tinggi ini adalah dengan penambahan serat-serat baja pada adukan beton. Serat dalam beton itu berfungsi untuk mencegah adanya crack – crack kecil sehingga beton serat akan lebih daktail dari pada beton biasa. Selain itu penambahan serat (*fiber*) ke dalam campuran beton mutu tinggi untuk beton bertulang dapat menghindari *spalling* pada cover beton (P. Paultre et al, 2010).

Daktilitas merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan suatu elemen struktur disamping aspek kekuatan dan kekakuan. Pada saat terjadi gempa, elemen-elemen struktur yang mempunyai daktilitas besar akan menyerap energi lebih banyak dibandingkan dengan elemen-elemen struktur dengan daktilitas kecil atau getas. Daktilitas pada balok beton bertulang didefinisikan sebagai perbandingan suatu parameter deformasi struktur pada saat runtuh terhadap parameter deformasi pada saat tulangan tarik terluar penampang mengalami leleh pertama. Parameter deformasi tersebut dapat berupa perpindahan translasi, rotasi, kurvatur dan regangan.

Salah satu cara untuk meningkatkan daktilitas dan kapasitas lentur balok beton bertulang adalah dengan pengekan lateral pada daerah inti (*core*) dari penampang tertekan balok beton. Pengekan (*confinement*) beton dapat meningkatkan daktilitas dan kuat tekan beton karena pengekan akan mencegah ekspansi lateral yang terjadi akibat efek poison selama pembebanan berlangsung pada beton. Dengan kata lain kekangan akan menambah besar tegangan pada regangan tekan maksimum beton. Pengekan (*confinement*) menggunakan sengkang khusus di jalur daerah tekan pada balok beton mutu normal dengan desain tulangan *under-reinforced* dapat meningkatkan daktilitas dari balok (Ziara dkk,1995). Perilaku balok beton mutu tinggi bertulangan lebih dengan daerah tekan dikekang secara khusus menggunakan tulangan sengkang, memperlihatkan peningkatan kapasitas kuat lentur dan perilaku keruntuhan yang daktail (Tavio dkk, 2000).

Dari beberapa penelitian telah dibuktikan bahwa pengekan pada balok beton dapat meningkatkan daktilitas maupun kapasitas lentur dari balok. Namun dari penelitian yang telah ada belum ada yang membahas bagaimana konfigurasi pengekan yang paling efektif pada balok beton bertulang. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh konfigurasi sengkang sebagai pengekan pada daerah tekan balok beton bertulang. Penggunaan beton dengan tambahan serat bendrat pada penelitian ini diharapkan dapat memperbesar efek jangkauan kekangan beton dari sengkang dan dapat mencegah terjadinya *spalling* pada daerah beton di luar pengekan.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui daktilitas dan kekakuan dari balok beton serat bertulang dengan beberapa konfigurasi sengkang di wilayah lentur balok.
2. Mengetahui kapasitas lentur dari balok beton serat bertulang dengan beberapa konfigurasi sengkang di wilayah lentur balok.

3. Mengetahui kuat tekan beton mutu tinggi dengan penambahan serat bendrat sebesar 0,5% dari volume beton.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian Tugas Akhir ini merupakan penelitian bagian yang diambil dari penelitian bersama yang dikerjakan bersama oleh mahasiswa S1 dan mahasiswa S2.
2. Material penyusun benda uji yang digunakan dalam penelitian ini:
 - a. Material beton dengan mutu rencana 50 Mpa dari readymix PT. Budi Mulya, Semarang.
 - b. Serat bendrat (baja) Ø 1 mm panjang 50 mm berbentuk lurus dengan kadar 0,5% dari volume beton.
3. Benda uji balok yang digunakan dalam penelitian berjumlah 3 buah dengan konfigurasi sengkang yang membentuk cakupan daerah pengekangan beton yang berbeda di wilayah lentur murni balok.
4. Spasi sengkang pada wilayah lentur murni balok sebesar 150 mm.
5. Pengujian balok dilakukan pada umur 21 hari.
6. Pengujian properties material beton menggunakan silinder umur 7 hari, 21 hari dan 28 hari.

METODELOGI PENELITIAN

Penentuan Benda Uji

Beton yang digunakan dalam penelitian direncanakan dengan kuat tekan rencana sebesar 50 MPa. Ketentuan mix desain beton bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mix Desain beton 50 Mpa

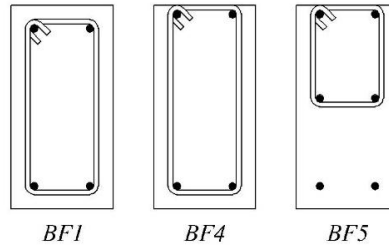
Material	Jumlah
Semen OPC (kg/m ³)	500
Fly Ash (kg/m ³)	82.83
Water (lt/m ³)	140
w/c	0.30
Viscocrete 0.5%(lt/m ³)	2.5
Agregate Halus (kg/m ³)	662.07
Agregate Kasar (kg/m ³)	1080.22
Slump	10 ± 2
Serat Bendrat 0,5 % volume beton (kg/m ³)	33,4

Serat baja yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan serat baja tipe “*straight*” yaitu serat baja dengan bentuk lurus. Serat baja yang dipakai adalah serat dari kawat bendrat diameter 1 mm yang dipotong dengan panjang 50 mm berbentuk lurus. Serat bendrat yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 1.



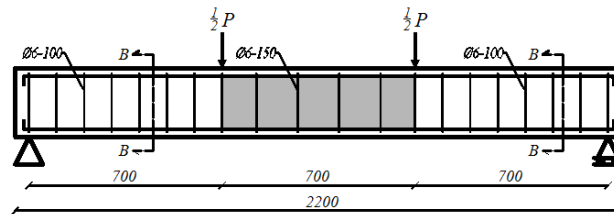
Gambar 1. Serat Bendrat

Penelitian ini merupakan penelitian bagian dari penelitian hibah “Studi Eksperimental Beton Bertulang *Fiber* dengan Pengekangan”. Penelitian tugas akhir ini mengambil 3 buah benda uji balok dengan konfigurasi sengkang yang berbeda dari penelitian hibah tersebut. Jenis konfigurasi sengkang yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Sengkang

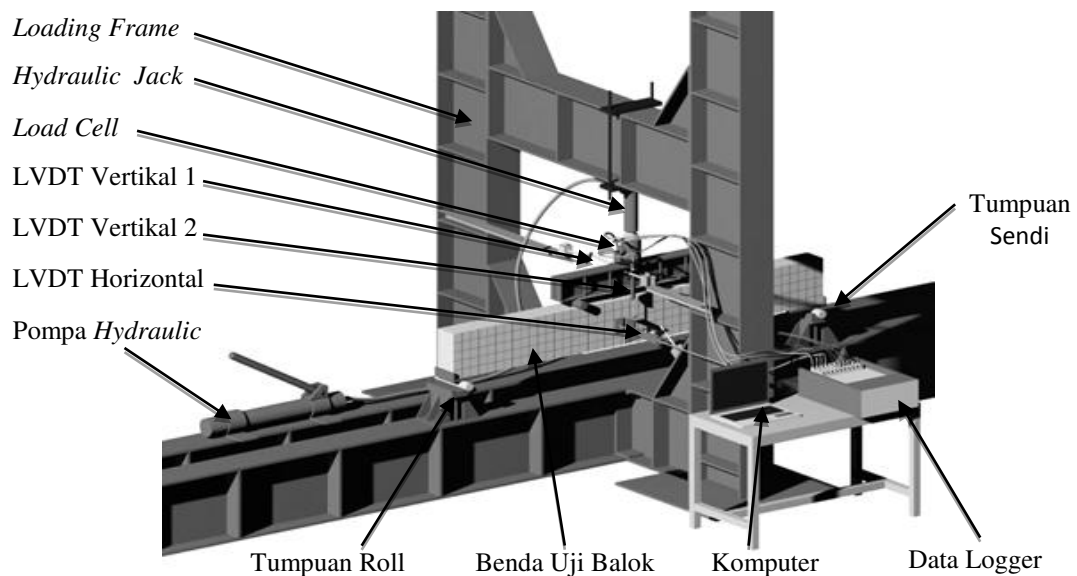
Gambar 3 menunjukkan potongan memanjang dimana wilayah variasi sengkang dan model pengujian yang akan dilakukan.



Gambar 3. Potongan Memanjang Balok

Set-Up Pengujian Benda Uji Balok

Pengujian balok *diset-up* untuk pengujian lentur murni dengan pembebanan 2 titik. Alat-alat yang digunakan dan letak pemasangannya bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Set-Up* Pengujian Lentur Murni

HASIL DAN ANALISA DATA

Hasil dan Analisis Data Pengujian Properties Material

Perbedaan perilaku beton serat dan beton tanpa serat (normal) dapat dilihat pada Tabel 2 untuk kuat tekan beton dan Gambar 5 untuk perilaku kehancuran beton.

Tabel 2. Hasil Kuat Tekan Silinder

No	Umur (hari)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)	Peningkatan Kuat Tekan Beton Serat Terhadap Beton Normal (%)
1	28	55,38	50.15	-
2	28	47,16		
3	28	48,97		
4	28	49,41		
5	28	53.31	56.15	11,96%
6	28	56.80		
7	28	62.54		
8	28	51.95		



(a) beton normal



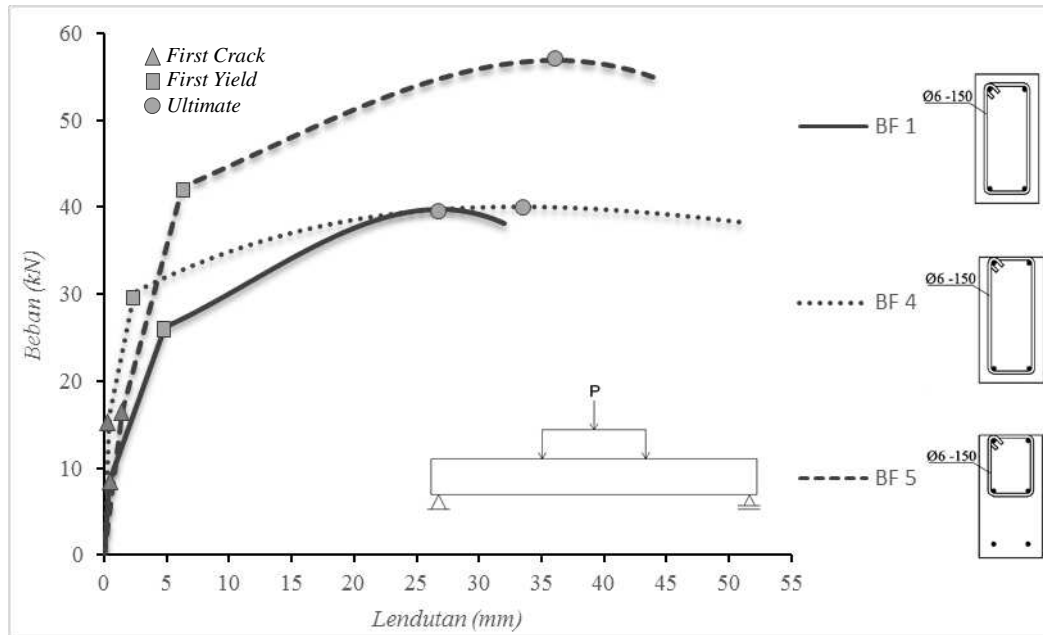
(b) beton serat

Gambar 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Hasil dan Analisis Data Pengujian Balok

Data yang didapatkan dari hasil pengujian antara lain adalah beban dari *load cell* dan lendutan balok dari pemasangan LVDT. Dari data-data yang diperoleh, dapat dibuat grafik beban-lendutan yang digunakan untuk menganalisis hubungan beban dengan lendutan pada masing-masing benda uji balok.

Grafik beban-lendutan diperoleh dari data beban dari *load cell* dan lendutan dari LVDT yang tercatat selama waktu pengujian. Lendutan (Δ) dicatat dalam satuan milimeter (mm) dan beban (P) dalam satuan kN. Grafik beban-lendutan setiap jenis balok diperlihatkan pada gambar di bawah. Hasil pengujian balok diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Pengujian Lentur Murni Balok (P-Δ)

Ringkasan data hasil pengujian balok diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Lentur Murni Balok (P-Δ)

Kondisi Balok	Balok BF1		Balok BF4		Balok BF5	
	Beban (kN)	Lendutan (mm)	Beban (kN)	Lendutan (mm)	Beban (kN)	Lendutan (mm)
<i>First Crack</i>	8,470	0,40	15,356	0,35	16,163	1,40
<i>First Yield</i>	25,149	4,60	30,227	2,40	42,287	6,25
<i>Ultimate</i>	39,709	27,00	40,105	33,00	56,886	37,00

Dari Gambar 6 didapatkan beberapa parameter yang bisa digunakan untuk menganalisa perbedaan perilaku dari balok. Parameter pertama adalah besarnya beban *ultimate* yang mampu dipikul oleh masing-masing balok. Parameter kedua adalah kekakuan balok, yang bisa didapatkan dari kemiringan garis beban-lendutan dari awal pembebanan hingga tulangan pada balok memperlihatkan perilaku leleh. Parameter ketiga yang didapatkan adalah besarnya daktilitas masing-masing balok. daktilitas terlihat dari panjangnya lendutan yang terjadi saat tulangan balok memperlihatkan leleh hingga balok mencapai kapasitas beban *ultimate*.

Kapasitas Beban Ultimate Balok

Balok BF1 dan BF4 terpasang 4 buah tulangan longitudinal sedangkan balok BF5 terpasang 6 buah tulangan longitudinal. Untuk melihat pengaruh pengekanan terhadap kapasitas beban *ultimate* balok maka pada balok BF5 harus dilakukan transformasi dari 6 tulangan menjadi 4 tulangan terlebih dahulu agar hanya ada satu variabel yang berpengaruh. Dari hasil analisa perhitungan sumbangan kekuatan dari 2 buah tulangan tersebut sebesar 18,83 kN. Sehingga kapasitas beban *ultimate* dari balok BF5 adalah 56,91

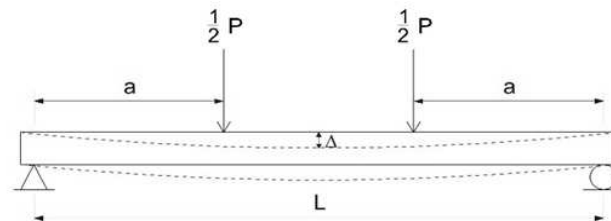
kN dikurang dengan 18,83 kN yaitu sebesar 38,08 kN. Besarnya peningkatan kapasitas beban *ultimate* balok dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas Beban *Ultimate* Balok

No	Benda Uji	Kapasitas Beban <i>Ultimate</i> Balok (4 tulangan longitudinal) (kN)	Kenaikan Kapasitas Beban <i>Ultimate</i> Balok terhadap Balok BF1 (%)
1	BF1	39,71	-
2	BF4	40,09	0,96
3	BF5	38,08	-4,10

Kekakuan Balok (EI)

Kekakuan bisa didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement* (lendutan). Hubungan beban (P), lendutan maksimum (Δ) dan kekakuan (*EI*) dari sebuah balok dengan ilustrasi seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Beban dan Lendutan

Besarnya nilai kekakuan (*EI*) dari penjabaran model pembebanan di atas didapat persamaan berikut.

$$\Delta = \frac{P \times a (3L^2 - 4a^2)}{48 \times EI} \dots\dots\dots (1)$$

Besarnya nilai kekakuan dari masing-masing balok dan peningkatannya bisa dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kekakuan Balok

No	Benda uji	Pada Tulangan Tarik Leleh		Kekakuan Balok EI (Nmm ²)	Peningkatan Kekakuan Balok Dari Balok BF1 (%)
		Beban (kN)	Lendutan (mm)		
1	BF1	26,15	4,85	8,8616 x 10 ¹¹	-
2	BF4	30,23	2,41	20,6159 x 10 ¹¹	132,64
3	BF5	42,34	6,26	11,1162 x 10 ¹¹	25,44

Daktilitas (μ)

Daktilitas merupakan rasio atau perbandingan dari *ultimate deformation* terhadap *deformation at first yield*. Sehingga daktilitas adalah lendutan saat *ultimate* dibagi dengan lendutan saat *first yield*. Nilai besarnya daktilitas dari tiap benda uji balok bisa dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Daktilitas (μ)

No	Benda uji	Pada Saat Tulangan		Pada Saat Beban		Daktilitas μ	Peningkatan Daktilitas dari Balok BF1 (%)
		Tarik <i>first yield</i>		<i>Ultimate</i>			
		Beban (kN)	Lendutan (mm)	Beban (kN)	Lendutan (mm)		
1	BF1	26,15	4,85	39,71	26,87	5,54	-
2	BF4	30,23	2,41	40,09	33,11	13,74	148,01
3	BF5	42,34	6,26	56,91	36,09	5,76	3,97

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan analisa data hasil pengujian pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan:

1. Konfigurasi sengkang yang terjadi kurang efektif dalam mengekang zona tekan balok sehingga peningkatan kapasitas beban ultimate dari balok hanya kecil. Konfigurasi sengkang pada balok BF4 hanya meningkatkan kapasitas beban ultimate sebesar 0,96% dari balok BF1. Sedangkan pada balok BF 5 justru terjadi penurunan kapasitas beban ultimate sebesar 4,10%, kemungkinan ada faktor lain yang menyebabkan hal ini terjadi seperti penurunan mutu beton pada balok karena perbedaan waktu pengecoran.
2. Konfigurasi sengkang yang paling efektif meningkatkan kekakuan balok adalah konfigurasi balok BF4. Pada hasil pengujian balok BF4 menunjukkan peningkatan kekakuan dari balok BF1 sebesar 132,64%, sedangkan balok BF5 peningkatan kekakuannya dari BF1 sebesar 25,44%.
3. Konfigurasi sengkang yang paling efektif meningkatkan daktilitas balok adalah konfigurasi balok BF4. Pada hasil pengujian balok BF4 menunjukkan peningkatan daktilitasnya dari balok BF1 sebesar 148,01%, sedangkan balok BF5 hanya meningkatkan daktilitasnya dari BF1 sebesar 3,97%.
4. Penggunaan serat bendrat dalam beton mutu tinggi meningkatkan kuat tekan beton dan meningkatkan ikatan material beton. Dengan penambahan serat bendrat 0,5% pada beton dapat meningkatkan kapasitas tekannya sebesar 11,96%. Peningkatan ikatan material beton bisa dilihat pada pengamatan pengujian silinder beton, setelah silinder beton dibebani sampai kuat tekan ultimate-nya pada silinder beton normal sesaat kemudian langsung pecah sedangkan pada silinder beton serat hanya terjadi retakan.

SARAN

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Besarnya peningkatan kapasitas lentur balok dipengaruhi oleh luasan daerah tekan yang masuk dalam wilayah pengekangan. Luasan daerah tekan yang terjadi ditentukan oleh ρ tulangan pada balok. Sehingga perlu adanya studi lebih lanjut mengenai pengaruh besarnya ρ tulangan balok terhadap efektifitas pengekangan.
2. Pada daerah tekan balok, dipasang tulangan arah longitudinal yang difungsikan sebagai penyangga sengkang dan untuk mencegah terjadinya susut dan rangkai pada beton daerah tekan balok. Tulangan longitudinal yang berada pada daerah tekan balok ini juga akan mengalami tekanan arah memanjang balok seperti yang terjadi pada beton akibat reaksi balok terhadap pembebanan. Oleh karena itu perlu adanya studi lebih lanjut mengenai efektifitas besarnya sumbangan tulangan longitudinal sebagai perkuatan daerah tekan balok.

3. Pengekangan oleh sengkang pada beton zona tertekan balok sifatnya adalah setempat di beberapa titik dimana sengkang itu berada pada arah memanjang balok. Oleh karena itu perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai efektifitas jarak antar sengkang untuk mengekang beton sepanjang daerah tertekan pada balok.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 363, 1992. *State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete* (ACI 363 R-162), American Concrete Institute, Detroit.
- ACI Committee 544, 2002. *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete* (ACI 544 1R-96), American Concrete Institute, Detroit.
- G. Mac Gregor, James, 1997. *Reinforced concrete mechanics and design Third Edition*: Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Ziara et al, 1995. *Flexural Behavior of Beams With Confinement*, ACI Structural Journal, V.92 (1), Detroit.
- Paultre et al, 2010. *Behavior of Steel-Reinforced High-Strength Concrete Columns Under Uniaxial Compression*, J.Struct. Eng., 136(10), 1225-1235.
- Park, R, dan Paulay, T., 1975. *Reinforced Concrete Structures*, A Wiley – Interscience Publication, New York.
- Suhendro 1990, *Beton Fiber Lokal Konsep, Aplikasi, dan Permasalahannya*, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Tavio dkk, 2000. *Pengaruh Pengekangan Daerah Tekan Pada Balok Beton Mutu Tinggi*, Media Teknik, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono, 1994. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil UGM, Yogyakarta.
- Wang, Chu-kia dan Charles G. Salmon 1993. *Desain Beton Bertulang*, Terjemahan oleh: Hariandja, Erlangga, Bandung.