

PENGARUH VARIASI LUASAN CFRP (*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*) PADA KOLOM PENDEK TANPA TULANGAN PENAMPANG BULAT TERHADAP KUAT TEKAN AKSIAL

Muhammad Alim Sunujaya

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
malimsunujaya13@gmail.com

Abstrak

Beton yang diberi tulangan transversal dapat dianggap sebagai beton dengan kekangan internal, beton yang tidak terkekang berbeda karakteristiknya apabila menerima beban aksial. Selimut beton akan mulai retak apabila kekuatan beton tanpa tulangan telah mencapai batas maksimum karena tidak adanya kekangan internal yang didapatkan dari tulangan transversal. Benda uji pada penelitian ini tidak mendapatkan kekangan internal, melainkan akan dikekang secara eksternal yang didapatkan dari pengaplikasian CFRP. Penggunaan CFRP sebagai kekangan eksternal bertujuan untuk mengetahui kontribusi murni dari CFRP dalam memperkuat inti beton yang tidak dikekang oleh tulangan transversal. Pengaplikasian CFRP dilakukan dengan tiga macam jarak sehingga menghasilkan tiga luasan berbeda. Semakin meningkat luasannya akan semakin meningkatnya kekuatan beton dalam menerima kuat tekan aksial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kuat tekan aksial pada benda uji dengan menggunakan CFRP. Benda uji dengan empat strip CFRP mengalami peningkatan sebesar 36,89%, benda uji dengan lima strip CFRP mengalami peningkatan sebesar 45,83%, sedangkan benda uji dengan CFRP penuh mengalami peningkatan sebesar 117,5%.

Kata Kunci: Kekangan Eksternal, Kuat Tekan Aksial, Luasan CFRP.

Abstract

Reinforcement on concrete is considered as internal confinement, unconfined concrete has different characteristics compare to confined concrete for carrying the axial loads. Concrete cover begins crack when the strength of the unconfined concrete reaches maximum loads because the concrete has no internal confinement from the reinforcement itself. The specimens in this study has no internal confinement, instead of external confinement of applying the CFRP. The applying of CFRP as external confinement aims for determine the contribution of CFRP itself for strengthen the concrete core which is not confined by the internal confinement. The specimens are applied by CFRP with three kind of distance, therefore there are three area variations of CFRP. Bigger area of CFRP causes increase strength on the specimens to carrying the axial loads. The result of this study showed that there is an increase in compressive test using the external confinement. Specimens of four strips of CFRP increased strength by 36.89%, specimens of five CFRP strip increased strength by 45.83%, while the specimens of fully wrapped CFRP increased strength by 117.5%.

Keywords: Area of CFRP, Compressive Strength, External Confinement.

PENDAHULUAN

Suatu perencanaan struktur bangunan gedung membutuhkan kolom yang berguna untuk menahan kekuatan balok utama. Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok.

Kolom dengan penampang bulat merupakan penampang yang lebih kuat daripada penampang persegi. Kolom bersengkang (segi empat dan bujur sangkar) merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena pelaksanaan pekerjaannya mudah dan harga pembuatannya murah, (Asroni, 2010). Sengkang berfungsi meningkatkan kemampuan kolom dalam menerima gaya tekan, (Sabariman, 2018; Sabariman et al, 2018)

Beton dengan tulangan berfungsi untuk memikul gaya tekan dan gaya tarik, gaya tarik ini ditahan oleh tulangan-tulangan pada beton. Sedangkan beton tanpa tulangan adalah yang tidak terdapat tulangan pada beton

itu sendiri. Beton tanpa tulangan akan berbeda karakteristiknya dengan beton dengan tulangan apabila menerima beban aksial. Selimut beton akan mulai retak apabila kekuatan beton tanpa tulangan telah mencapai batas maksimum. Selimut beton tanpa tulangan seharusnya diperkuat agar beton tidak mudah mengalami keretakan apabila kolom menerima beban aksial yang lebih besar.

Kolom yang runtuh dapat dicegah dengan cara perbaikan atau perkuatan struktur. Dengan perkuatan yang dilakukan, akan meningkatkan kekuatan kolom pada struktur yang menurun kekuatannya, sehingga kekuatan kolom dapat kembali sesuai dengan kekuatan rencana. Perkuatan struktur yang dapat dilakukan antara lain yaitu *fiber reinforcement polymer* (FRP).

Semakin berkembangnya teknologi, berbagai macam kerusakan memiliki jalan lain agar menjadi utuh kembali. Salah satunya adalah dengan menemukan

material jenis baru untuk perbaikan struktur, yaitu adalah *Fiber reinforcement polymer* (FRP) pada penelitian ini menggunakan jenis *carbon*. Metode *Carbon fiber reinforcement polymer* (CFRP) ini merupakan metode yang bagus karena tidak perlu melakukan penggantian beton lama yang telah mengalami kerusakan. Penambahan material ini juga tidak mudah mengalami korosi. CFRP merupakan bahan yang sangat baik dalam penggunaannya untuk bentuk kolom (Taringan, 2014)

Fiber reinforcement polymer (FRP) yang akan digunakan yaitu jenis *carbon*. *Carbon fiber reinforcement polymer* (CFRP) sendiri mempunyai tiga jenis yakni anyaman serat (*wrap*), lempengan pelat (*plate*), dan batang silinder (*rod*). Maka dipilihlah jenis serat (*wrap*), yang penggunaannya untuk memperkuat kuat tekan struktur kolom.

CFRP adalah bahan serat fiber yang hanya bisa digunakan pada beton. Jenis CFRP ada 3 macam yaitu, *wrap*, tulangan, dan *plate*. Pada kolom digunakan jenis CFRP *wrap* dengan cara membungkus melingkari seluruh kolom sehingga membuat kolom tertutup rapat dari bawah ke atas dengan variasi jarak.

CFRP mempunyai fungsi antara lain adalah: meningkatkan kekuatan kompresi dari kolom sirkular, menutup kondisi kolom yang sudah mengalami retak, retak sebelum penambahan bahan CFRP tersebut, meningkatkan kekuatan geser dan kekuatan fleksural dari kolom beton serta menambah atau menggantikan penulangan yang berkurang akibat kerusakan (PT. Sika Indonesia). Nilai kuat tekan beton yang terkekang oleh tulangan transversal dan terkekang CFRP semakin meningkatkan kapasitas gaya aksial maksimum kolom (Marolop, 2009)

Perkuatan CFRP pada kolom berpenampang bulat dilakukan untuk bertujuan memberikan kekuatan lebih di area selimut beton tanpa tulangan, agar kolom dapat menerima beban aksial yang lebih besar daripada kolom berpenampang bulat pada umumnya. Perkuatan CFRP umumnya menyelimuti seluruh bagian luar struktur. Penelitian ini akan menggunakan variasi jarak penempatan CFRP yang akan menyelimuti bagian luar struktur. Tujuan dari menempelkan CFRP dengan memberikan variasi jarak adalah untuk melihat berapa jarak penambahan CFRP yang efektif pada kolom pendek penampang bulat.

Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan CFRP sebagai pengekang yang divariasikan jaraknya untuk mengetahui kontribusi murni dari kekangan CFRP. Untuk memperjelas arah penelitian terkait kekangan kolom pendek oleh CFRP, maka penelitian ini mengambil judul “Pengaruh Variasi Luasan CFRP (*Carbon Fiber*

Reinforced Polymer) pada Kolom Pendek Tanpa Tulangan Penampang Bulat terhadap Kuat Tekan Aksial”

KAJIAN PUSTAKA

Kolom

Kolom merupakan batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Menurut Edward G. Nawy, 1998, apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*). Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. Dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek (runtuh karena material) ke kolom panjang (runtuh karena tekuk) yang terdefinisi dengan menggunakan perbandingan panjang efektif kl_u dengan jari-jari girasi r . Tinggi l_u adalah panjang tak tertumpu (*unsupported length*) kolom, dan k adalah faktor yang bergantung pada kondisi ujung kolom dan kondisi adakah penahan deformasi lateral atau tidak. Ketentuan kolom pendek dan kolom langsing didasari atas nilai rasio kelangsingan kolom.

$$kl_u/r \leq 22 \dots \dots \dots (1)$$

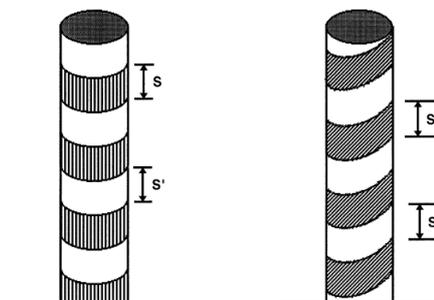
kolom diklasifikasikan sebagai kolom pendek,

$$kl_u/r > 22 \dots \dots \dots (2)$$

kolom diklasifikasikan sebagai kolom langsing.

Pengekangan pada kolom

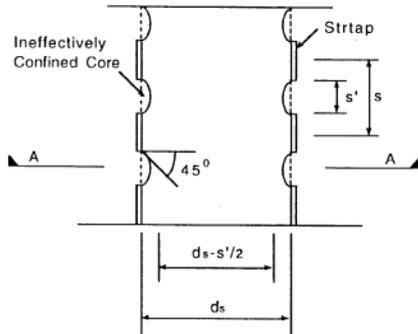
Pada studi yang dilakukan oleh Saadatmanesh, pemasangan CFRP sebagai pengekangan eksternal beton dapat dilakukan dengan *individual rings* dan *continuous spiral* seperti tampak pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Kolom dengan CFRP (sumber: Saadatmanesh, 1994)

Teknik yang dilakukan oleh Sheikh dan Uzumeri digunakan untuk menentukan area efektif dari

pengekangan beton antara *strap* CFRP seperti tampak pada Gambar 2. Gambar tersebut diasumsikan bahwa terdapat sudut antara *strap* dalam bentuk parabola dengan kemiringan singgung sebesar 45 derajat. Beton pada area parabola ini diasumsikan tidak efektif.



Gambar 2 Pengekangan beton dengan CFRP *individual rings* (sumber: Saadatmanesh, 1994)

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*) adalah salah satu bahan komposit non-logam dari serat karbon, cukup mudah diaplikasikan pada beton bertulang untuk meningkatkan kekuatan struktur kolom. CFRP memiliki penampang yang kecil, berat yang ringan, dan tidak mengalami korosi. Keunggulan dari CFRP yang tidak dimiliki oleh baja tulangan yaitu mempunyai kuat tarik jauh lebih tinggi dari baja tulangan sebesar 2800 MPa dan memiliki modulus elastisitas sebesar 165000 MPa. Penggunaan CFRP sebagai material perkuatan di Indonesia sudah sejak tahun 1997. Jenis CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) sendiri terdapat tiga jenis yakni anyaman serat (*wrap*), lempengan pelat (*plate*), dan batang silinder (*rod*), (Djamaluddin, 2008)

Perhitungan kekangan CFRP.

Menurut ACI 440.2R-17 *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures* Pasal 12.1, perhitungan kekangan eksternal beton yang berasal dari CFRP dikalkulasikan berdasarkan persamaan berikut:

$$f'_{cc} = f'_c + \Psi_f 3,3 K_a f_l \quad (3)$$

$$f_l = \frac{2E_f n_t f \varepsilon_{fe}}{D} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{fe} = K_\varepsilon \varepsilon_{fu} \quad (5)$$

$$D = \sqrt{b^2 + h^2} \quad (6)$$

$$K_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h}\right)^2 \quad (7)$$

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h}\right)(h-2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b-2r_c)^2\right]}{3A_g} \rho_g \quad (8)$$

Menurut ACI 440-2R-17 pasal 13.3 rasio volume CFRP setidaknya harus memenuhi persamaan berikut:

$$\rho_f \geq \frac{0,0052 \cdot \rho_l \cdot D}{d_{bl}} \cdot \frac{f_y}{f_{fe}} \quad (9)$$

$$\rho_f = \frac{4 \cdot n_t \cdot f}{D} \cdot \frac{W_f}{S_f} \quad (10)$$

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} \cdot E_{fe} \quad (11)$$

Syarat jarak strik CFRP S_f menurut ACI 440-2R-17:

$$S_f \leq \left(3 - 6 \left(\frac{f_u}{f_y} - 1\right)\right) \cdot d_{bl} \leq 6 \cdot d_{bl} \quad (12)$$

$$S_f \leq 150 \text{ mm} \quad (13)$$

METODE

Tempat penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian metode eksperimen dengan membuat benda uji berupa kolom pendek berpenampang persegi dan benda uji mutu beton silinder. Pembuatan benda uji mulai dari persiapan bekisting, memasang tulangan transversal, pengecoran benda uji, dan perawatan benda uji dilakukan di *concrete batching plant* PT. Varia Usaha Beton yang berlokasi di Karang Pilang-Surabaya, pemasangan CFRP dan pengujian terhadap kuat tekan kolom pendek dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Negeri Surabaya.

Parameter penelitian

Parameter penelitian berisi rincian *mix design* beton, rincian benda uji silinder beton, rincian benda uji, perhitungan syarat tulangan transversal, gambar detail benda uji, dan gambar detail penulangan.

Tabel 1. *Mix design*

Material	Volume 0,0323 m ³ (kg/m ³)
Semen	9,85
Air	5,49
Pasir	25,52
Agregat (5-10 mm)	10,37
Agregat (10-20 mm)	26,65
<i>Retarder</i>	0,03
<i>Superplasticizer</i>	0,04

(sumber: *mix design* PT. Varia Usaha)

Tabel 2 Rincian benda uji silinder beton

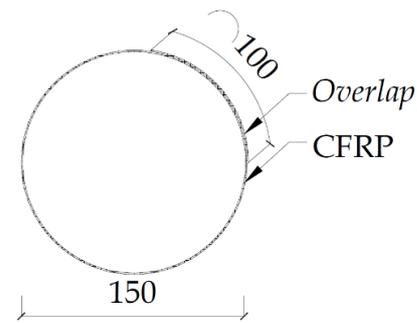
Benda Uji	Dimensi		f' _c target (MPa)
	φ (mm)	H (mm)	
KM ₁	150	300	22,5
KM ₂	150	300	22,5
KM ₃	150	300	22,5

(Sumber: hasil perhitungan)

Tabel 3 Rincian benda uji

Benda Uji	b=h (mm)	t (mm)	Jumlah (buah)	CFRP	Luasan CFRP (mm ²)
KK	150	300	2	-	0
KS4	150	300	2	Jarak 60 mm	72000
KS5	150	300	2	Jarak 37,5 mm	90000
KCF	150	300	2	Jarak 0 mm	180000

(Sumber: hasil perhitungan)



Gambar 3 Detail pemasangan CFRP

Pengujian

Pengujian kuat tekan pada kolom pendek pada penelitian ini akan dilakukan dengan beban konsentris dan bersifat pembebanan statis. Langkah-langkah pengujian benda uji di laboratorium sebagai berikut:

- Melakukan penelitian tentang bahan terutama agregat halus dan kasar untuk beton mutu normal sesuai syarat ACI dan ASTM.
- Membuat rencana *mix design* beton mutu normal.
- Membuat benda uji silinder beton ϕ 150 mm \times 300 mm.
- Membuat benda uji kolom pendek penampang persegi ukuran 150 mm \times 150 mm \times 300 mm dengan tiga variasi jarak tulangan transversal.
- Melakukan pembongkaran bekisting kolom pendek penampang persegi setelah proses pengecoran yang telah berumur 24 jam.
- Melakukan perawatan benda uji kolom pendek penampang persegi dengan cara merendam benda uji selama 28 hari.
- Setelah 28 hari, benda uji diangkat dan dibiarkan sampai mencapai kering udara.
- Menempelkan CFRP Sika *Wrap* pada benda uji setelah satu hari pengangkatan benda uji dari perawatan.
- Melakukan uji kuat tekan benda uji silinder beton hanya sampai P_{maks} memakai *universal testing*

machine (UTM) kapasitas 1000 kN yang digabung dengan alat *universal recorder (UR)*.

- Melakukan uji kuat tekan benda uji kolom pendek penampang persegi sampai mencapai runtuh memakai *universal testing machine (UTM)* kapasitas 1000 kN yang digabung dengan alat *universal recorder (UR)*.

Teknik analisis data

Analisis data dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Melakukan uji kuat tekan benda uji silinder beton untuk mendapatkan nilai f'_c .
- Melakukan uji kuat tekan benda uji kolom pendek penampang persegi dengan memberikan beban konsentris dan bersifat *static monotonic* sampai mencapai runtuh.
- Melakukan pengamatan besarnya nilai P_0 dari pengujian tes kuat tekan benda uji kolom pendek penampang persegi.
- Membandingkan besar nilai P_0 pada benda uji kolom pendek penampang persegi dengan tiga variasi jarak CFRP.
- Melakukan pembahasan mengenai pengaruh penggunaan CFRP pada kolom pendek tanpa tulangan penampang bulat terhadap kuat tekan aksial.

Tabel 8 Hasil Perhitungan P_0 teori

No	Benda Uji	P_0 teori (N)
1	KK	279329
2	KS4	289139
3	KS5	301425
4	KCF	324016

(sumber: hasil perhitungan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji tekan benda uji

Hasil pengujian benda uji terdiri dari hasil uji tes mutu (f'_c) dan hasil uji tes kuat tekan. Hasil uji tes mutu ditunjukkan pada Tabel 5. Dan hasil uji tes kuat tekan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil tes tekan silinder beton

No	Kode	Kuat Tekan (MPa)
1	KM ₁	23.31
2	KM ₂	20.03
3	KM ₃	21.46
	Rerata	21.60

(sumber: hasil uji)

Berdasarkan hasil tes tekan silinder beton di laboratorium, benda uji silinder beton dengan umur 28 hari memperoleh rerata nilai kuat tekan sebesar 21,60 MPa. Hasil kuat tekan tersebut nilainya di atas dari nilai kuat tekan target rencana sebesar 22,5 MPa. Namun hal tersebut tidak melampaui dari batas perbedaan sebesar $\pm 3,5$ MPa sebagaimana dijelaskan pada SNI 2847-2013.

Tabel 6. Hasil tes tekan benda uji

No	Kode	Pmax (N)	Rerata (N)
1	KK ₁	238750	282969
2	KK ₂	327188	
3	KS4 ₁	386563	387344
4	KS4 ₂	388125	
5	KS5 ₁	427500	412656
6	KS5 ₂	397813	
7	KCF ₁	601875	615469
8	KCF ₂	629063	

(sumber: hasil tes)

Perhitungan prediksi P_0 Perhitungan prediksi P_0 dilakukan dengan 2 perhitungan yaitu perhitungan berdasarkan ACI 440.2R-17 dan perbandingan luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji.

Tabel 7 Rasio Luasan CFRP

No	Kode	Luasan CFRP (mm)	Rasio Luasan CFRP (mm)
1	KS4	72000	0,4
2	KS5	90000	0,5
3	KCF	180000	1

Peningkatan P_0

Hasil peningkatan nilai P_0 benda uji pada penelitian ini dengan perbedaan luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji akan dibandingkan dengan hasil nilai P_0 benda uji kontrol yang tidak diaplikasikan CFRP adalah sebagai berikut.

1. Benda uji KK tanpa CFRP didapat nilai P_0 sebesar 282969 N. Setelah ditambahkan 4 strip CFRP, nilai P_0 yang diterima oleh benda uji KS4 meningkat menjadi 387344 N.
2. Benda uji KK tanpa CFRP didapat nilai P_0 sebesar 282969 N. Setelah ditambahkan 5 strip CFRP, nilai P_0 yang diterima oleh benda uji KS5 meningkat menjadi 412656 N.
3. Benda uji KK tanpa CFRP didapat nilai P_0 sebesar 282969 N. Setelah ditambahkan CFRP penuh, nilai P_0 yang diterima oleh benda uji KCF meningkat menjadi 615469 N.

Tabel 9 Peningkatan P_0 eksperimen

No	Benda Uji	P_0 - eksp (N)	Peningkatan (%)
1	KK	282969	-
2	KS4	387344	36,89
3	KS5	412656	45,83
4	KCF	615469	117,5

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Hubungan luasan dan P_0 eksperimen

Hubungan antara luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji dengan P_0 yang didapat akan ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Grafik Hubungan Luasan dan P_0

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan yaitu semakin meningkatnya luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji, maka semakin meningkatkan kekuatan aksial pada benda uji. Dengan peningkatan yang terjadi sebesar 36,89% pada benda uji dengan CFRP 4 strip, 45,83% pada benda uji dengan CFRP 5 strip, dan 117,5% pada benda uji dengan CFRP penuh.

DAFTAR PUSTAKA

Sudarmoko, 1996. Perencanaan dan Analisa Kolom Beton Bertulang. Yogyakarta.

Asroni, Ali. 2010. *Kolom Pondasi Balok T Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.

Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama.

Park, R. dan Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley and Sons.

Sabariman, Bambang. 2018. *Kuat Tekan Aksial Kolom Pendek Terkekang Penampang Persegi Diperkuat Serat Baja*. INERSIA, Vol. XIV, No. 1.

Sabariman, Bambang; Soehardjono, Agoes; Wisnumurti; Wibowo, Ari; Taviyo. 2018. *Stress-Strain Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Cylinders Spirally Confined with Steel Bars*. Hindawi, *Advances in Civil Engineering*, Volume 2018, Article ID 6940532.

Tarigan, Jimmy Carter dan Barus, Sanci. 2014. *Analisis Perbandingan Kolom Beton Bertulang Berbentuk Bulat dan Persegi Menggunakan Carbon Fiber Wrap terhadap Variasi Pembebanan Aksial (Eksperimen)*.

Sianipar, Marolop Tua. 2009. *Analisa Kolom beton Bertulang yang diperkuat dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Skripsi. Diterbitkan. Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sumatera Utara: Sumatera Utara.

ACI Comitee 400, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structure*. Detroit: American Concrete Institute, 2017.

Saadatmanesh, H.; Ehsani, M. R.; Li, M. W. 1994. *Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps*. ACI Structural Journal, Title no. 91-S43.