

# Peningkatan Kekuatan Akibat Beban Siklik pada Kolom Beton Bertulang Persegi dengan Pengekangan Eksternal FRP

Karmila Achmad<sup>1</sup>, Agoes SMD<sup>2</sup> dan Tavio<sup>3</sup>

1. Mahasiswa S2 Teknik Sipil Struktur Universitas Brawijaya, Malang
2. Guru Besar Teknik Sipil Struktur Universitas Brawijaya, Malang
3. Dosen Teknik Sipil dan Perencanaan-FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya  
Email : milabpp@yahoo.co.id

## Abstract

*This paper analyzes about the increasing the strength by cyclic load in RC square column structure which has been given FRP external confinement. By existence dislocating the Indonesian earthquake map, so that needed structures anticipation for seismic. Cyclic load is the simplicity of seismic. By developing the material technology, it has been done the innovation of structure confinement by using fiber. In this research uses two kinds of fibers. They are Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) and Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). There are three specimens will be compared. They are C-1, C-1G and C-1C. Analysis result got that there is the increasing of  $f'_{cc}$  and  $\epsilon'_{cc}$  in C-1C about 8,55% and 18,95% toward C-1G indicated that CFRP can increase strength bigger than GFRP. GFRP and CFRP give the influence to confinement where happening the increasing of confinement effectiveness C-1G and C-1C about 1,45 and 1,58 times compared with C-1. According to interaction diagram result got the value  $P_V$  constant about 960 KN and the variation number of  $P_H$  are 207,79 KN, 225,40KN and 228,44KN for each C-1, C-1G and C-1C.*

*Keywords : FRP, Strength, RC Column, External Confinement, Cyclic load.*

## Abstrak

*Makalah ini meneliti mengenai peningkatan kekuatan dengan adanya beban siklik yang bekerja pada elemen struktur kolom beton bertulang yang telah diberi pengekangan FRP. Dengan adanya pergeseran peta gempa Indonesia maka perlu dilakukan antisipasi struktur yang telah berdiri terhadap bahaya gempa. Beban siklik merupakan penyederhanaan dari beban gempa. Dengan berkembangnya teknologi material maka dilakukan inovasi pengekangan struktur dengan memanfaatkan fiber. Dalam penelitian ini akan digunakan dua jenis fiber yaitu Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) dan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Ada tiga benda uji yang akan dibandingkan yaitu C-1, C-1G dan C-1C. Dari hasil analisis diperoleh bahwa terjadi peningkatan  $f'_{cc}$  dan  $\epsilon'_{cc}$  pada C-1C sebesar 8,55% dan 18,95% terhadap C-1G yang mengindikasikan bahwa CFRP mampu meningkatkan kekuatan lebih besar dibanding GFRP. GFRP dan CFRP memberikan pengaruh terhadap pengekangan dimana terjadi peningkatan efektifitas pengekangan C-1G dan C-1C sebesar 1,45 dan 1,58 kali dibandingkan C-1. Serta berdasarkan hasil diagram interaksi diperoleh nilai  $P_V$  yang konstan sebesar 960 KN dan besarnya  $P_H$  bervariasi yaitu 207,79 KN, 225,40KN dan 228,44KN untuk masing-masing C-1, C-1G dan C-1C.*

*Kata Kunci-FRP, Kekuatan, Kolom Beton Bertulang, Pengekangan Eksternal, Siklik*

## 1. Pendahuluan

Bencana gempa bumi akan menimbulkan kerugian yang tidak sedikit, baik berupa kerugian material maupun kerugian non material. Untuk wilayah Negara Indonesia telah dilakukan peninjauan kembali terhadap peta gempa yang ada dimana berdasarkan hasil penelitian bahwa telah terjadi pergeseran zona gempa.<sup>23</sup> Untuk mengantisipasi struktur gedung akibat pergeseran peta

gempa ini maka ada dua hal penting yang harus diperhatikan yaitu kekuatan dan daktilitas struktur. Pembahasan dalam makalah ini dikhususkan pada peningkatan kekuatan struktur dengan menggunakan pembebanan siklik yang merupakan representatif yang tepat untuk mewakili beban gempa.

Kolom merupakan elemen struktur yang penting karena kegagalan kolom akan berakibat langsung pada elemen struktur lainnya. Jika pengekangan internal

kolom sudah tidak memadai untuk menahan beban yang bekerja maka dibutuhkan pengekangan eksternal. Dengan kemajuan teknologi berkembang inovasi baru penggunaan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) untuk pengekangan eksternal struktur. Keunggulan dari FRP yaitu bahan lebih ringan, kekuatan tarik tinggi, tidak korosi sehingga memiliki durabilitas (keawetan) yang tinggi, mudah dalam pemasangan sehingga menghemat waktu serta bahannya mudah dibentuk (fleksibel). Pengekangan FRP diyakini mampu meningkatkan kekuatan dan daktilitas struktur.<sup>3-9</sup> Pada umumnya jenis FRP yang digunakan adalah CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) dan GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*).

Meskipun hasil penelitian dalam makalah ini belum ekstensif namun diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat terhadap penggunaan FRP pada struktur bangunan gedung.

## 1. Tinjauan Pustaka

### 1.1. *Fiber Reinforced Polymer* (FRP)

*Fiber Reinforced Polymer* (FRP) adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai pengekangan eksternal tambahan pada struktur dan menjadi alternatif yang murah untuk memulihkan atau meningkatkan kinerja pada kolom beton.<sup>11</sup>

GFRP adalah jenis serat yang relatif lebih murah dibanding CFRP. GFRP memiliki regangan yang lebih besar dibanding CFRP. Sedangkan CFRP memiliki kekuatan yang relatif lebih tinggi dibanding GFRP. Sehingga material ini cocok digunakan untuk perkuatan kolom beton.<sup>10</sup>

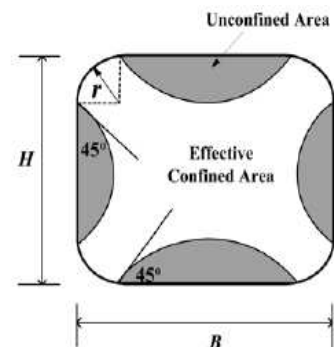
### 1.2. *External Confinement*

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai

dengan rencana. Pengekangan eksternal FRP pada struktur diharapkan mampu meningkatkan kapasitas beban aksial dan kapasitas perpindahan lateral kolom.

Sendi plastis akan berkembang pada kolom beton selama gempa bumi terjadi sehingga pengekangan lateral yang cukup dibutuhkan untuk memastikan kapasitas daktilitas dan mencegah kegagalan *brittle* struktur.<sup>33</sup> Variabel yang mempengaruhi efektivitas pengekangan untuk jenis penampang yang sama adalah jumlah lapisan FRP, tingkat beban aksial dan jenis FRP yang digunakan.<sup>20</sup>

Dalam penelitian ini yang akan dibahas adalah pengekangan pada penampang persegi. Pada gambar 1 menunjukkan bentuk dari bagian yang terkekang untuk dimensi  $B \times H$  dan jari-jari sudut  $r$ . Daerah tidak terkekang umumnya diwakili oleh empat parabola (fungsi kuadrat) dengan kemiringan awal adalah 45 derajat.



Gambar 1: Gaya kekang pada penampang beton

### 1.3. *Kekuatan*

Kolom dapat dikekang dengan FRP untuk meningkatkan daya dukung aksial. Kapasitas (nominal) beban aksial teoritis dari kolom *non-slender* perkuatan FRP adalah :

$$P_0 = 0,85 \psi_f f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

(1)

Dimana :  $A_g$  = luas bruto beton

$A_{st}$  = luasan tulangan memanjang baja

$f_y$  = tegangan leleh baja longitudinal

$\psi_f$  = faktor reduksi FRP

$f'_{cc}$  = kuat tekan beton terkekang

Kapasitas aksial nominal maksimum kolom nonslender perkuatan FRP dengan pengekokan *tied* adalah

$$P_{n(max)} = 0,80 \left[ 0,85 \rho_f f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right]$$

(2)

Menurut ACI 440.2R-02 kekuatan tekan pengekokan,  $f'_{cc}$  yang merupakan persamaan kekuatan beton terkekang yang dikembangkan oleh Mander dkk (1988) adalah

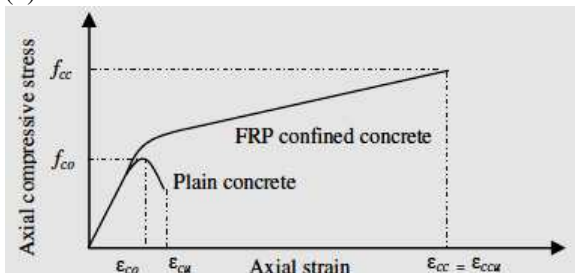
$$f'_{cc} = f'_c \left( 2,25 \sqrt{1 + 7,9 \frac{f_l}{f'_c}} - 2 \frac{f_l}{f'_c} - 1,25 \right)$$

(3)

Dimana tekanan pengekokan disediakan oleh FRP,  $f_l$  oleh ACI 440.2R-02 dirumuskan sebagai :

$$f_l = \frac{k_a \rho_f E_f \epsilon_f \epsilon_c}{2}$$

(4)

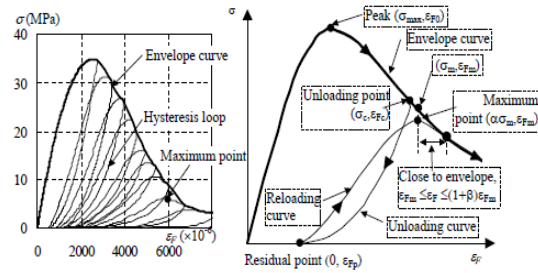


Gambar 2: Diagram tegangan-regangan

#### 1.4. Beban Siklik

Beban siklik merupakan beban berulang yang diterima oleh suatu struktur. Dimana kekuatan *fatigue* merupakan kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan *fatigue* akibat beban siklik dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, tingkat pembebanan, *load history* dan sifat material.<sup>3</sup>

Untuk memprediksi perilaku struktur beton di bawah beban seismik, model tegangan-regangan beton di bawah beban siklik (*hysteresis loop*) adalah hal yang penting untuk diamati.<sup>24</sup>



Gambar 3: Hysteresis Loop

## 2. Metode Penelitian

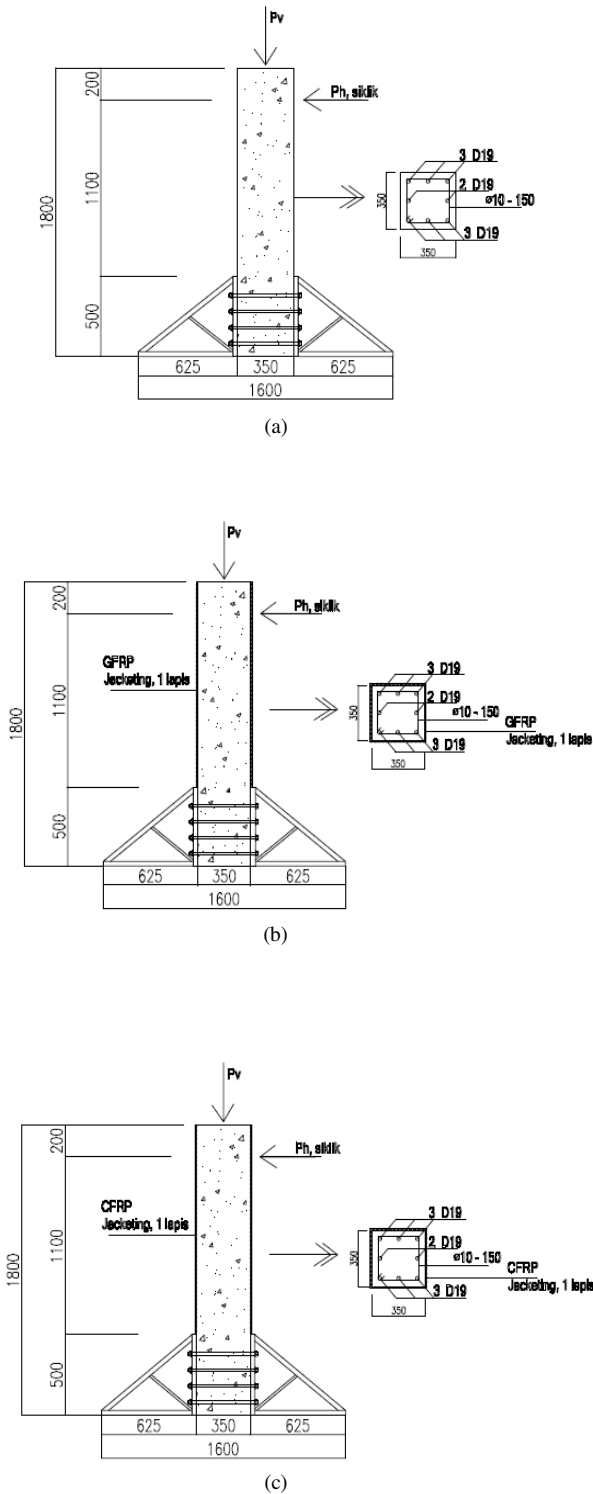
### 2.1. Spesimen

Spesimen yang diuji adalah kolom persegi dengan ukuran 350 x 350 mm dan tinggi 1100 mm. Pada bagian bawah kolom dijepit setinggi 500 mm. Mutu beton yang digunakan adalah 25 MPa dan mutu baja adalah 400 MPa.

Jumlah spesimen adalah 3 kolom yang masing-masing terdiri dari kolom original yaitu kolom tanpa perkuatan *fiber* (C-1), kolom dengan 1 lapis GFRP (C-1G) dan kolom dengan 1 lapis CFRP (C-1C). Jumlah tulangan longitudinal 8D19 dan jarak antar sengkang  $\phi 10-150$ . Adapun spesifikasi masing-masing kolom seperti pada tabel 1 dengan detail gambar seperti pada gambar. 4.

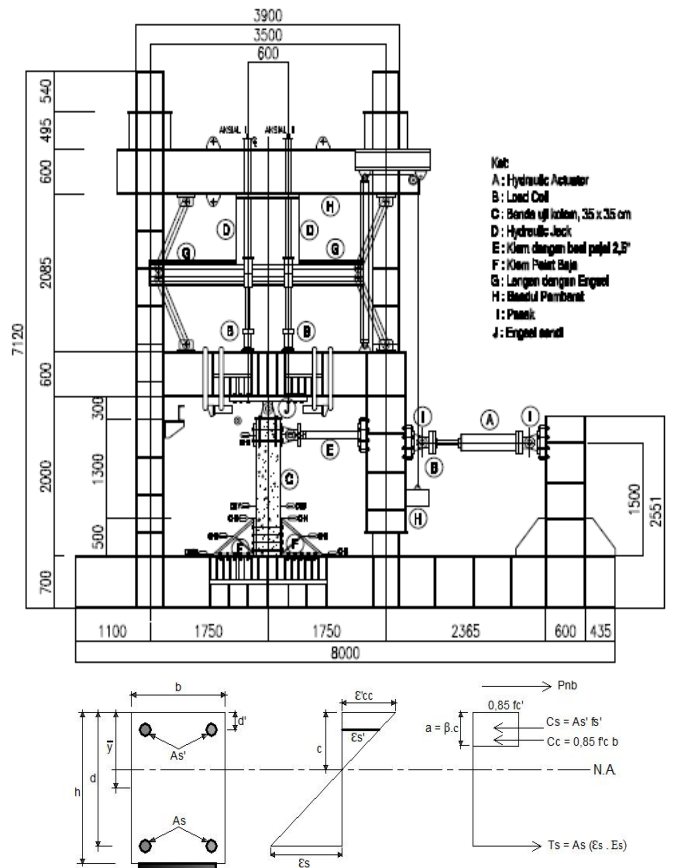
Tabel 1. Spesifikasi Benda Uji

Benda Uji Kolom		C-1	C-1G	C-1C
Kuat tekan beton, Mpa		25	25	25
Ukuran Kolom	B (mm)	350	350	350
	H (mm)	350	350	350
	L (mm)	1100	1100	1100
Tulangan Longitudinal		8D19	8D19	8D19
Tulangan Transversal		$\phi 10 - 150$	$\phi 10 - 150$	$\phi 10 - 150$
FRP Composite Jacketing	Fu, Mpa	-	575	876
	tebal/lapis (mm)	-	1.3	1.0
	Jumlah lapisan	-	1	1



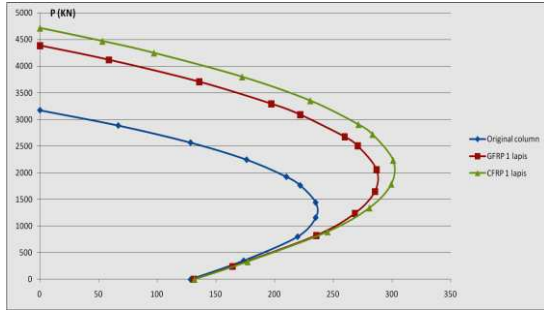
Gambar 4: Spesimen kolom (a) Kolom C-1  
(b) Kolom C-1G (c) Kolom C-1C

## 2.2. Set-up Pengujian



Gambar 6: Diagram Blok Kolom  
Pengekangan Eksternal FRP

Analisa diagram interaksi menunjukkan bahwa kolom dengan pengekangan FRP memberikan peningkatan beban aksial nominal sebesar 116,03% dan 134,66% terhadap kolom original, masing-masing untuk C-1G dan C-1C. Juga terjadi peningkatan momen nominal untuk kolom C-1G dan C-1C berturut-turut sebesar 15,19% dan 20,54% terhadap C-1. Untuk perbandingan jenis serat, dapat dilihat bahwa prosentase peningkatan Pn dan Mn kolom C-1C terhadap C-1G terjadi peningkatan sebesar 8,62% dan 4,65%.



Gambar 7: Analisa Diagram Interaksi

Tabel 2. Prosentase Peningkatan Pn dan Mn

Benda Uji Kolom	Pn (KN)	Mn (KN.m)	Prosentase Peningkatan terhadap C-1	
			Pn (%)	Mn (%)
C-1	1160	235,07	-	-
C-1G	2506	270,77	116,03	15,19
C-1C	2722	283,36	134,66	20,54

### 3.2. Tegangan-Regangan Puncak

Perilaku struktur sangat dipengaruhi oleh diagram tegangan-regangan. Dari hasil analisa diperoleh peningkatan tegangan-regangan puncak yang mengindikasikan peningkatan kekuatan untuk kolom dengan pengekanan eksternal FRP baik untuk GFRP maupun CFRP seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Untuk C-1C, prosentase peningkatan  $f'_{cc}$  lebih besar dibandingkan dengan specimen C-1G yaitu 8,55 dan prosentase peningkatan  $\epsilon'_{cc}$  sebesar 18,95. Sehingga dari segi kekuatan CFRP akan memberikan peningkatan yang lebih besar dibanding pengekanan dengan GFRP.

Tabel 3. Prosentase Peningkatan  $f'_{cc}$  dan  $\epsilon'_{cc}$

Benda Uji Kolom	$f'_{cc}$ (Mpa)	$\epsilon'_{cc}$ (%)	Prosentase Peningkatan terhadap C-1G	
			$f'_{cc}$ (%)	$\epsilon'_{cc}$ (%)
C-1G	36,36	0,59	-	-
C-1C	39,47	0,70	8,55	18,95

### 3.3. Pengaruh Pengekanan

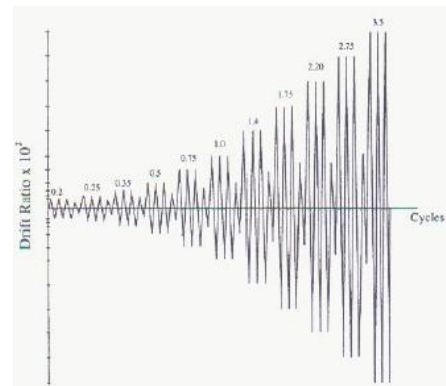
Tabel 4. Pengaruh Pengekanan FRP

Benda Uji Kolom	Kuat Tekan Beton $f'_c$ (Mpa)	Kuat Tekan Beton Terkekang $f'_{cc}$ (Mpa)	Hasil Analisis $f'_{cc}/f'_c$
C-1	25	-	-
C-1G	25	36,36	1,45
C-1C	25	39,47	1,58

Tabel 4 menunjukkan bahwa kolom yang telah diberi FRP baik GFRP maupun CFRP memberikan pengaruh pengekanan lebih baik dibandingkan kolom original dimana efektifitas pengekanan meningkat sebesar 1,45 dan 1,58 kalinya dibandingkan kolom tanpa FRP.

### 3.4. Pengujian

Semua pengujian kolom dilakukan di bawah beban aksial konstan dan variasi siklik. Pola pembebanan siklik mengacu pada pola pembebanan ACI 374.1-05 seperti pada gambar 8 dengan *drift ratio*  $\Delta/L$  ( $\times 10^2$ ): 0,2; 0,25; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,4; 1,75; 2,20; 2,75 dan 3,5. Dan pengujian dihentikan saat terjadi kegagalan specimen.



Gambar 8: Pola Pembebanan

Dari analisa diperoleh beban aksial rencana konstan untuk semua benda uji adalah 960 KN. Untuk besarnya beban lateral bervariasi yaitu untuk specimen C-

1, C-1G dan C-1C berturut-turut adalah 207,79 KN, 225,40 KN dan 228,44KN.

kolom original C-1 : 207,79 KN, C-1G : 225,40 KN dan C-1C : 228,44 KN.

Tabel 5. Beban Rencana

Benda Uji Kolom	Beban Aksial	Beban Siklik	
	$P_v$ (KN)	$P_H$ (KN)	e (mm)
C-1	960	207,79	238
C-1G	960	225,40	258
C-1C	960	228,44	262

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil analisa untuk penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Terjadi peningkatan  $P_n$  dan  $M_n$  pada kolom pengekanan eksternal GFRP 1 lapis, masing-masing sebesar 116,03% dan 15,19% dibandingkan kolom original
2. Untuk kolom pengekanan eksternal CFRP 1 lapis peningkatan  $P_n$  dan  $M_n$  terhadap kolom original adalah 134,66% dan 20,54%
3. Prosentase peningkatan  $P_n$  dan  $M_n$  kolom C-1C terhadap C-1G adalah 8,62% dan 4,65%.
4. Hubungan tegangan-regangan puncak memberikan data peningkatan  $f'_{cc}$  dan  $\epsilon'_{cc}$  pada kolom C-1C masing-masing adalah 8,55% dan 18,95% yang mengindikasikan bahwa kolom dengan pengekanan jenis serat *Carbon* memberikan peningkatan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolom pengekanan eksternal dengan jenis serat *Glass*.
5. FRP memberikan pengaruh pengekanan yang lebih efektif dibandingkan kolom original dimana efektifitas pengekanan meningkat sebesar 1,45 dan 1,58 masing-masing untuk specimen C-1G dan C-1C.
6. Dari hasil analisa diperoleh beban aksial konstan yang sama pada semua spesimen sebesar 960 KN.
7. Besarnya beban siklik yang diwakili dengan  $P_H$  adalah bervariasi yaitu pada

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada FYFE Co. LLC Singapore dengan perwakilan di Indonesia adalah PT. Master Solusi Indonesia (MSI) atas bantuan dan kerjasamanya dalam menyediakan material GFRP dan CFRP (*Tyfo<sup>®</sup>Fibrwrap<sup>®</sup>Composite Systems*) dan *applicator*-nya.

#### Daftar Pustaka

1. ACI 440.2R-02. "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures". ACI Committee 440, 2002
2. ACI 374.1-05. "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary". ACI Committee 374, 2005
3. Al-Sulayfani, B and Al-Tae, H. "Modeling of Stress-Strain Relationship for Fibrous Concrete Under Cyclic Loads" Eng.Tech.Vol.26, No1, 2008, pp. 45-53
4. Bae, S and Bayrak, O. "Seismic Performance of Full-Scale Reinforced Concrete Columns" *ACI Structural Journal*" March-April, 2008, pp. 123-133
5. Balaguru, P, Nanni, A and Giancaspro, J. "FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures" Taylor & Francis Group, New York, 2009
6. Bank, Lawrence. "Structural Design with FRP Materials" John Wiley & Sons, INC, Canada, 2006
7. Benzaid, R, Chikh NE and Mesbah H. "Behaviour Of Square Concrete Column Confined With GFRP Composite Warp", *Journal Of Civil Engineering And Management*, 2008
8. Cole, C. and Belarbi, A. "Confinement Characteristics of Rectangular FRP-Jacketed RC Columns", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-5)*, Cambridge, UK, July 16-18, 2001, pp. 823-832.

9. Dhakal, RP and Maekawa, K. "*Post-Peak Cyclic behavior and Ductility of reinforced Concrete Columns*"
10. Faella, A, Napoli, A and Realfonzo, R. "*Cyclic Behaviour of Concrete Columns Confined with FRP Systems*" Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008), 22-24 July 2008, Zurich, Switzerland, pp. 1-6
11. Gangarao, H, Taly, N and Gangarao, H. "*Reinforced Concrete Design with FRP Composites*" CRC Press, Francis, 2007
12. Harajli, M and Dagher, F. "*Seismic Strengthening of Bond-Critical Regions in Rectangular Reinforced Concrete Columns Using Fiber-Reinforced Polymer Wraps*" ACI Structural Journal, January-February 2008, pp.68-77
13. Kumar, ES, Murugesan, A and Thirugnanam, G.S. "*Experimental Study on Behavior of Retrofitted with FRP Wrapped RC Beam-Column Exterior Joints Subjected to Cyclic Loading*" International Journal of Civil and Structural Engineering, Vol. 1, No.1, 2010, pp.64-79
14. Lee, Chung-Sheng, Hegemier, GA and Philippi DJ. "*Analytical Model for Fiber Reinforced Polymer Jacketed Square Concrete Columns in Axial Compression*" ACI Structural Journal, 2010 pp.208-217
15. Nawy, Edward. "*Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*" PT. Refika Aditama, Bandung, 2008
16. Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan. "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*". Badan Standardisasi Nasional. Bandung, 2002
17. Park, R and Paulay, T. "*Reinforced Concrete Structures*" John Wiley and Sons, Canada, 1975
18. Rousakis, T and Tepfers, R. "*Behavior of Concrete Confined by High E-Modulus Carbon FRP Sheets, Subjected to Monotonic and Cyclic Axial Compressive Load*"
19. Saadatmanesh, H, Ehsani, MR and Li, MW. "*Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps*" ACI Structural Journal, 1994
20. Sheikh, SA and Liu, J. "*Enhancing Seismic resistance of Concrete Columns with FRP*" Proceedings fib Symposium PRAGUE, 8-10 June 2010
21. Tavio, Purwono, R dan Rosyidah, A. "*Peningkatan Daya Dukung dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*" Dinamika Teknik Sipil, 2009
22. Teng, J. G, Huang, Y. L, Lam, L and Ye L. P. "*Theoretical Model for Fiber-Reinforced Polymer-Confined Concrete*", Journal of Composites Construction ASCE, March-April 2007, pp.201-210
23. Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. "*Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*" Bandung, 2010
24. Watanabe, K, Niwa, J, Yokota, H and Iwanami, M. "*Stress-Strain Relationship for the Localized Compressive Failure Zone of Concrete under Cyclic Loading*"