

## DAKTILITAS KURVATUR PENAMPANG KOLOM BETON BERTULANG TERKEKANG CINCIN BAJA

Endah Safitri

Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta  
Email: [safitri47@gmail.com](mailto:safitri47@gmail.com)

### ABSTRAK

Struktur perlu didesain mempunyai daktilitas yang tinggi agar mendapatkan struktur yang relatif kuat menahan beban gempa (*earthquake resistant building*). Pada elemen beton bertulang, pengekangan efektif pada elemen struktur yang menerima gaya aksial tekan dominan yaitu kolom. Kekangan yang umum dipakai selama ini pada kolom adalah *internal confinement*. Paper ini membahas tentang *external confinement* sebagai alternatif lain dari pengekangan kolom. Sebagai *external confinement* dipakai tabung silinder baja yang dipotong dengan lebar tertentu sehingga mirip cincin baja. Efek kekangan yang berbeda pada beton didapat dari variasi nilai rasio volumetrik cincin baja. Daktilitas kurvatur meningkat seiring dengan semakin besarnya rasio volumetrik cincin baja. Hal ini dikarenakan semakin besar rasio volumetrik cincin baja, maka daerah kekangan semakin luas sehingga beton mampu berdeformasi lebih besar. Meningkatnya kemampuan beton dalam berdeformasi ini akan meningkatkan daktilitas beton. Kenaikan optimum daktilitas kurvatur penampang kolom beton bertulang terkekang cincin baja tercapai pada rasio volumetrik 1,85%.

Kata kunci: daktilitas kurvatur, kekangan, kolom beton bertulang

### 1. PENDAHULUAN

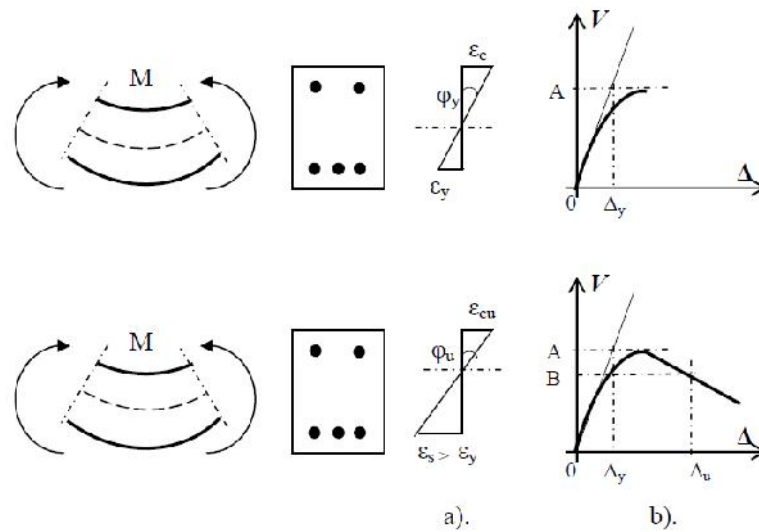
Daktilitas diperlukan pada elemen beton bertulang untuk menciptakan struktur yang relatif kuat menahan beban gempa tetapi ekonomis (*earthquake resistant building*) (Pawirodikromo, 2012). Struktur perlu didesain mempunyai daktilitas yang tinggi terutama pada elemen kolom paling bawah, agar struktur mampu berdeformasi dengan simpangan lateral yang besar. Salah satu cara untuk meningkatkan daktilitas pada kolom struktur paling bawah adalah dengan pengekangan elemen beton bertulang. Kolom yang dikekang memiliki kekuatan lebih besar daripada kolom yang tidak dikekang. Hal ini karena akibat kekangan akan menambah besar tegangan dan regangan tekan maksimum (Mander et.al., 1988).

Pada elemen beton bertulang, pengekangan efektif pada daerah tekan penampang beton terutama pada elemen struktur yang menerima gaya aksial tekan dominan yaitu kolom. Kekangan yang umum dipakai selama ini pada kolom adalah *internal confinement* berupa tulangan sengkang baik spiral maupun persegi. Berbagai penelitian tentang *internal confinement* telah banyak dilakukan. Berbagai variasi konfigurasi tulangan sengkang diteliti untuk menghasilkan daerah kekangan yang lebih baik pada beton. Tulangan lateral tersebut berfungsi sebagai tulangan geser sekaligus sebagai pengekang (*confined*) beton agar tidak terjadi pengurangan inti (*core*) beton yang berlebihan (akibat pecahnya beton) terutama pada kolom yang mendapat beban aksial tinggi. Akibat hilangnya selimut beton pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.4.4. memuat persamaan rumus yang mangakomodir bila terjadi *spalling* pada pelindung beton tidak akan menyebabkan kehilangan kekuatan beban aksial kolom (Purwono dkk, 2007). Akan tetapi *spalling* sangat merugikan pada elemen struktur yang bersangkutan karena tulangan longitudinal kolom yang kelihatan beresiko korosi yang akan menyebabkan penurunan kekuatan tulangan tersebut.

Oleh karena itu, paper ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kekangan *external confinement* sebagai alternatif lain dari pengekangan yang diharapkan selain mampu meningkatkan daktilitas beton juga mampu menyelamatkan selimut beton.

### 2. KAJIAN PUSTAKA

Daktilitas menunjukkan kemampuan struktur dalam menahan pengaruh deformasi akibat kondisi pembebanan yang berlebihan (Park and Ruitong, 1988). Daktilitas pada umumnya ada dua macam, yaitu daktilitas lengkung (*curvature ductility*) dan daktilitas simpangan (*displacement ductility*) (Paulay and Priestlay, 1992).



Gambar 1. Daktilitas : a) Kurvatur dan b) Perpindahan (Pawirodikromo, 2012)

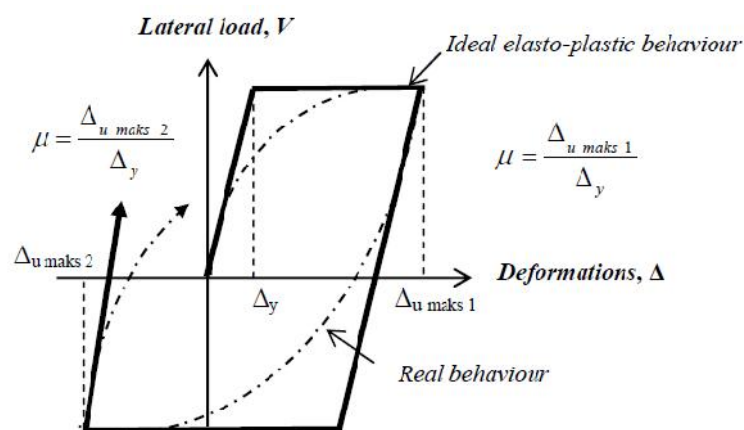
Pada Gambar 1 terlihat daktilitas kurvatur adalah perbandingan antara sudut rotasi per-unit panjang (kelengkungan)  $\phi_u$  pada kondisi ultimit dan  $\phi_y$  pada kondisi leleh pertama, atau

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (1)$$

Sementara itu daktilitas simpangan adalah rasio antara simpangan ultimit  $\Delta_u$  dengan simpangan saat leleh pertama  $\Delta_y$ , atau

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2)$$

Pada pembebanan siklik bolak balik, hubungan antara beban dan simpangan ditunjukkan oleh garis lengkung/non-linier putus-putus yang membentuk suatu siklus tertutup yang umumnya disebut *hysteretic loops*. Untuk menentukan simpangan leleh pada garis lengkung tersebut agak kesulitan. Oleh karena itu di dalam dinamik analisis, perilaku non-linier diatas dapat dimodel sebagai model histeresis elastoplastis. Dengan model elastoplastis maka simpangan saat leleh  $\Delta_y$  dan simpangan ultimit  $\Delta_u$  dapat ditentukan relatif mudah (Gambar 2).



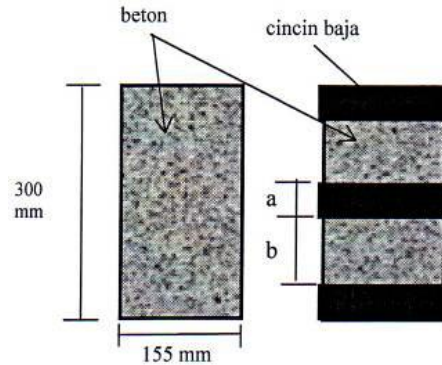
Gambar 2. Daktilitas Perpindahan (Park, 1989)

Untuk menyelamatkan selimut beton, akhir-akhir ini dikembangkan penelitian tentang *external confinement*. Salah satu contohnya adalah *Concrete Filled Steel Tubes (CFST)*. CFST adalah elemen struktur komposit yang terdiri dari sebuah tabung baja dan beton pengisi. Tabung baja disini berperan sebagai *external confinement* sekaligus *external reinforcement*. CFST mengoptimalkan kontribusi kedua komponen dengan meningkatkan efisiensi geometrik dan sepenuhnya menggunakan kekuatan yang ada pada mereka. Beton pengisi dikekang oleh tabung baja, sehingga dalam kondisi tekanan triaksial akan meningkatkan kapasitas kekuatan dan regangan beton (Roeder et.al., 2010).

Pada penelitian ini cincin baja hanya berfungsi sebagai *external confinement*, sehingga tidak perlu menyelubungi seluruh tinggi kolom dan dapat menghemat biaya konstruksi.

### 3. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui efek kekangan *external confinement* terhadap daktilitas kurvatur penampang kolom beton bertulang dipakai hasil penelitian pendahuluan silinder beton dengan cincin baja sebagai *external confinement*-nya. Tabung silinder baja ini dipotong dengan lebar tertentu ( $a$ ) sehingga mirip cincin. Cincin baja tersebut dipasang dengan jarak tertentu antar cincin ( $b$ ) seperti terlihat pada Gambar 3. Dengan variasi nilai  $a/b$  akan didapatkan variasi nilai rasio volumetrik cincin baja seperti yang disajikan dalam Tabel 1.

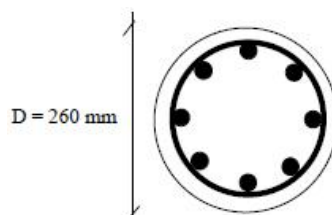


Gambar 3. Benda uji silinder beton terkekang cincin baja

Tabel 1. Varian benda uji

Benda Uji	Kode	Rasio volumetrik ( )
Beton tak terkekang	BTT	0
Beton terkekang variasi jarak antar cincin baja	BT 40/130	1,25
	BT 40/87	1,66
	BT 40/65	2,08
Beton terkekang variasi lebar cincin baja	BT 28/68	1,46
	BT 45/85	1,87
	BT 73/113	2,28

Ditinjau suatu penampang kolom beton bertulang berbentuk lingkaran diameter 260 mm dengan tulangan longitudinal 8D13, tulangan transversal Ø8, Mutu beton  $f'_c = 25$  MPa dan mutu tulangan baja  $f_y = 400$  MPa, selimut beton 25 mm seperti yang diperlihatkan di Gambar 4.



Gambar 4. Penampang kolom tertinjau

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisa perhitungan dengan menggunakan variasi pembebanan  $P_n = 0; 0,25 P_{nb}; 0,5 P_{nb};$  dan  $0,75 P_{nb}$ , maka didapatkan daktilitas kurvatur penampang kolom beton bertulang yang disajikan dalam Tabel 2a dan Tabel 2b.

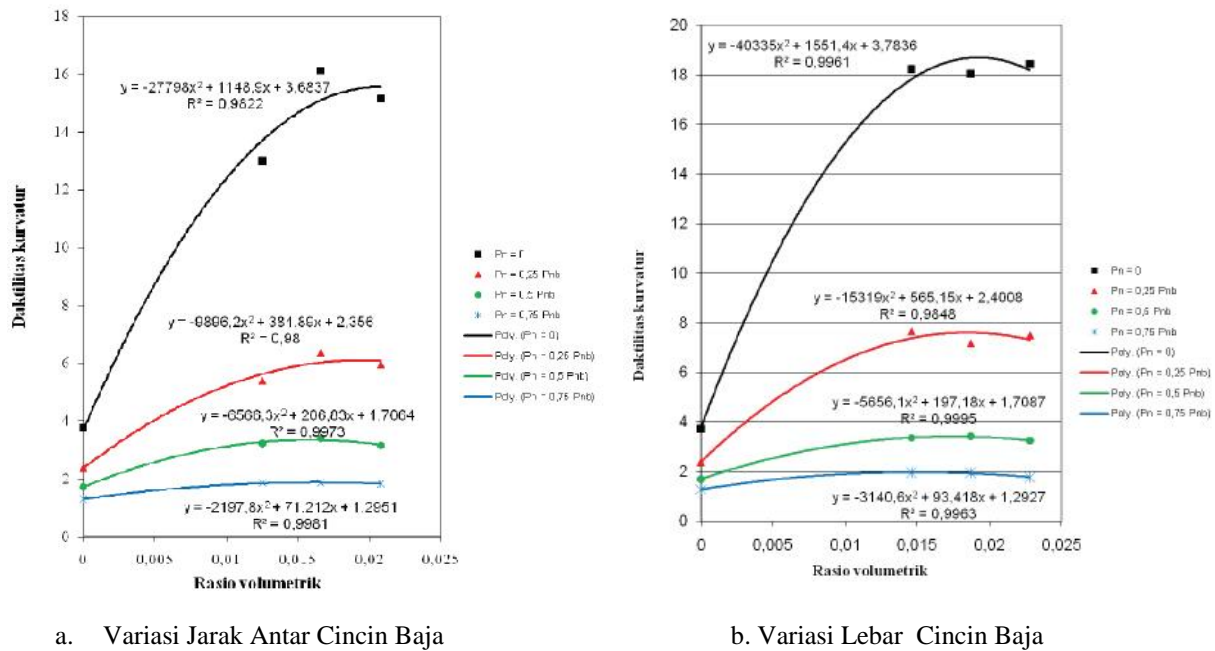
Tabel 2a. Daktilitas Kurvatur Penampang Kolom Beton Bertulang Terkekang Cincin Baja untuk Berbagai Rasio Volumetrik (Variasi Jarak Antar Cincin Baja) pada Berbagai Pembebanan

Variasi Jarak Antar Cincin Baja						
Pembebanan	Benda Uji	Beton tak terkekang (BTT)	Beton terkekang (BT)			
	Kode	BTT	BT 40/130	BT 40/87	BT 40/65	
	Rasio volumetrik $\rho$ (%)	0	1,25	1,66	2,08	
$P_n = 0$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		14,815	14,707	15,297	15,643
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		55,586	191,320	246,673	236,964
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	3,752		13,009	16,126	15,148
	Peningkatan daktilitas (%)		-	246,72	329,80	303,73
$P_n = 0,25 P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		17,982	24,156	23,512	23,556
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		42,773	130,140	149,688	140,005
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	2,379		5,387	6,366	5,943
	Peningkatan daktilitas (%)		-	126,44	167,59	149,81
$P_n = 0,5 P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		20,822	27,743	29,453	29,601
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		35,599	89,582	99,705	93,117
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	1,710		3,229	3,385	3,146
	Peningkatan daktilitas (%)		-	88,83	97,95	83,98
$P_n = 0,75 P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		23,133	38,643	42,560	40,025
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		29,928	71,611	78,948	73,331
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	1,294		1,833	1,855	1,832
	Peningkatan daktilitas (%)		-	43,20	43,35	41,58
$P_n = P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		26,304	58,730	63,946	59,637
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		26,304	58,730	63,946	59,637
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	1,000		1,000	1,000	1,000
	Peningkatan daktilitas (%)		-	0	0	0

Tabel 2b. Daktilitas Kurvatur Penampang Kolom Beton Bertulang Terkekang Cincin Baja untuk Berbagai Rasio Volumetrik (Variasi Lebar Cincin Baja) pada Berbagai Pembebanan

Variasi Lebar Cincin Baja						
Pembebanan	Benda Uji	Beton tak terkekang (BTT)	Beton terkekang (BT)			
	Kode	BTT	BT 28/68	BT 45/85	BT 73/113	
	Rasio volumetrik $\rho$ (%)	0	1,46	1,87	2,28	
$P_n = 0,25 P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		17,982	22,059	22,759	21,827
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		42,773	169,038	163,436	163,704
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	2,379		7,663	7,181	7,500
	Peningkatan daktilitas (%)		-	222,11	201,85	215,26
$P_n = 0,5 P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		20,822	33,561	31,613	33,380
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		35,599	112,976	108,847	108,624
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	1,710		3,366	3,443	3,254
	Peningkatan daktilitas (%)		-	96,84	101,35	90,29
$P_n = 0,75 P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		23,133	45,373	43,807	48,259
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		29,928	89,370	86,192	85,851
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	1,294		1,970	1,968	1,779
	Peningkatan daktilitas (%)		-	52,24	52,09	37,48
$P_n = P_{nb}$	$\varphi_y$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		26,304	72,336	69,615	69,388
	$\varphi_{ult}$ ( $10^{-6}$ rad/mm)		26,304	72,336	69,615	69,388
	Daktilitas kurvatur ( $\mu_{\varphi}$ )	1,000		1,000	1,000	1,000
	Peningkatan daktilitas (%)		-	0	0	0

Perhitungan optimasi dilakukan untuk mengetahui pada rasio volumetrik berapa daktilitas tercapai maksimum. Data-data daktilitas pada Tabel 2a dan 2b diplotkan pada diagram rasio volumetrik-daktilitas (Gambar 5). Persamaan grafik yang didapatkan pada berbagai pembebanan digunakan untuk mencari nilai titik optimasi, dengan mencari nilai  $\frac{dy}{dx} = 0$ . Hasil perhitungan titik optimasi dapat dilihat pada Tabel 3a dan 3b.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Rasio Volumetrik dan Daktilitas Kurvatur Penampang Kolom Beton Bertulang Terkekang Cincin Baja untuk Berbagai Pembebanan

Tabel 3a. Persamaan Grafik Daktilitas Kurvatur Penampang Kolom Beton Bertulang Terkekang Cincin Baja untuk Berbagai Pembebanan (Variasi Jarak Antar Cincin Baja)

Kondisi Pembebanan	BT				Optimasi pd titik x (rasio volumetrik)	Daktilitas Kurvatur pd titik optimasi
	BTT	40/130	40/87	40/65		
$P_n = 0$	3,752	13,009	16,126	15,148	0,0215	15,5531
$P_n = 0,25 P_{nb}$	2,379	5,387	6,366	5,943	0,0202	6,0988
$P_n = 0,5 P_{nb}$	1,710	3,229	3,385	3,146	0,0164	3,3359
$P_n = 0,75 P_{nb}$	1,294	1,853	1,855	1,832	0,0169	1,8722
					jumlah	0,0750
					rata-rata	0,0188

Tabel 3b. Persamaan Grafik Daktilitas Kurvatur Penampang Kolom Beton Bertulang Terkekang Cincin Baja Untuk Berbagai Pembebanan (Variasi Lebar Cincin Baja)

Kondisi Pembebanan	BT			Optimasi pd titik x (rasio volumetrik)	Daktilitas Kurvatur pd titik optimasi	
	BTT	28/68	45/85			73/113
$P_n = 0$	3,752	18,237	18,063	18,444	0,0200	18,6977
$P_n = 0,25 P_{nb}$	2,379	7,663	7,181	7,5	0,0192	7,6130
$P_n = 0,5 P_{nb}$	1,71	3,366	3,443	3,254	0,0181	3,4270
$P_n = 0,75 P_{nb}$	1,294	1,97	1,968	1,779	0,0155	1,9877
					jumlah	0,0727
					rata-rata	0,0182

Rasio volumetrik rata-rata untuk kolom terkekang cincin baja variasi jarak antar cincin baja adalah 1,88%, sedangkan untuk variasi lebar cincin baja adalah 1,82%. Oleh karena itu rasio volumetrik rata-rata yang menghasilkan efek kekangan paling optimal adalah :

$$\text{rasio volumetrik rata-rata} = \frac{0,0188 + 0,0182}{2} = 0,0185$$

Jadi daktilitas kurvatur optimum pada penelitian penampang kolom terkekang cincin baja ini terjadi pada rasio volumetrik cincin baja sebesar 1,85%. Hal ini membuktikan bahwa kekangan eksternal cincin baja memberikan efek kekangan yang optimal pada rasio volumetrik yang besar.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian diatas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Daktilitas kurvatur penampang kolom beton bertulang terkekang cincin baja untuk variasi jarak antar cincin baja meningkat seiring dengan peningkatan rasio volumetrik cincin baja.
2. Daktilitas kurvatur penampang kolom beton bertulang terkekang cincin baja untuk variasi lebar cincin baja meningkat seiring dengan peningkatan rasio volumetrik cincin baja.
3. Daktilitas kurvatur optimum pada penelitian penampang kolom terkekang cincin baja ini terjadi pada rasio volumetrik cincin baja sebesar 1,85%.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan untuk pendanaan yang diberikan pada penelitian ini melalui Program Hibah Doktor, Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Dana PNPB Universitas Sebelas Maret Tahun Anggaran 2015. Selain itu terima kasih juga untuk Laboratorium Bahan Teknik Sipil UNS dan Laboratorium Struktur Teknik Sipil UGM atas bantuan tempat pelaksanaan serta alat pengujiannya.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, (2002), “SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung”, Jakarta, Indonesia.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R. (1988), “Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No.8, Aug. 1988, pp. 1804-1826.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R. (1988), “Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete”, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 114, No. 8, Aug. 1988, pp. 1827-1849.
- Park, R. (1989), “Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing”, *Bulletin of The New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, Vol. 22, No. 3, September 1989, pp. 155-166.
- Park, R. and Ruitong, D. (1988), “Ductility of Doubly Reinforced Concrete Beam Section”, *ACI Structural Journal*, Vol. 85, No. 2, March 1988, pp. 217-225.
- Paulay, T. and Priestley M.J.N. (1992), “*Seismic Design in Reinforced Concrete and Masonry Buildings*”, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- Pawirodikromo, W. (2012), “*Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*”, Penerbit Pustaka Pelajar, Yogyakarta, Indonesia.
- Purwono, R.; Tavio; Imran, I.; dan Raka, I.G.P., (2007), “*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*”, Penerbit ITS Press, Surabaya
- Roeder, C.W., Lehman, D.E., and Bishop, E. (2010), “Strength and Stiffness of Circular Concrete-Filled Tubes”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 12, Desember 2010, pp. 1545-1553.