

PERILAKU STRUKTUR KOLOM BETON BERTULANG DENGAN MODIFIKASI PEMASANGAN TULANGAN PENGEKANG AKIBAT BEBAN AKSIAL DAN LATERAL SIKLIS

Anang Kristianto¹, Iswandi Imran², Made Suarjana³

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki daerah dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Hal ini dapat dilihat dengan berbagai kejadian gempa dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah di Indonesia. Kondisi ini menyebabkan sistem struktur yang dibangun di Indonesia harus mengikuti kaidah bangunan tahan gempa sehingga pada saat terjadi gempa, struktur dapat bertahan dan melindungi penghuninya dari resiko bahaya gempa. Peraturan perencanaan SNI 03-2847-02 (Purwono et.al, 2006) mensyaratkan diberikannya tulangan pengekang dengan kait gempa 135° pada elemen kolom yang dibangun pada daerah rawan gempa.

Dalam prakteknya pembuatan dan pemasangan tulangan pengekang ini tidaklah mudah, apalagi untuk kolom-kolom berdimensi besar yang umum dipakai pada bangunan gedung tinggi, jembatan dan jalan layang. Untuk memudahkan pembuatan dan pemasangannya, banyak pelaksana konstruksi yang pada akhirnya menggunakan tulangan pengekang yang dipasang dengan kait 90° . Beberapa laporan terkait dengan kerusakan struktur akibat gempa bumi di Indonesia memperlihatkan contoh-contoh keruntuhan bangunan yang terjadi akibat pendetailan tulangan kolom yang tidak memenuhi persyaratan (Imran et al. 2005; Imran et al. 2006; Imran I 2007), hasil penelitian juga membuktikan bahwa pemasangan tulangan pengekang dengan kait 90° untuk kolom pada daerah rawan gempa dapat menghasilkan *performance* yang buruk dan berbahaya bagi sistem struktur secara keseluruhan. (Sheikh and Yeh 1990; Saatcioglu and Razvi 1992; Wehbe et al. 1999).

Oleh karena itu pemasangan tulangan pengekang dengan kait 90° untuk elemen struktur kolom beton bertulang pada dasarnya tidaklah direkomendasikan. Namun, walaupun demikian sistem ini ternyata banyak diaplikasikan di lapangan mengingat kemudahan dalam pemasangannya.

Makalah ini menyajikan hasil studi eksperimen pengembangan suatu perangkat tambahan yang dapat memperbaiki *performance* tulangan pengekang yang dipasang dengan kait gempa 90° sedemikian sehingga sekalipun digunakan pengekang dengan kait gempa 90° , struktur kolom yang dihasilkan akan berperilaku daktail dan liat (*tough*), yaitu tidak gampang runtuh.

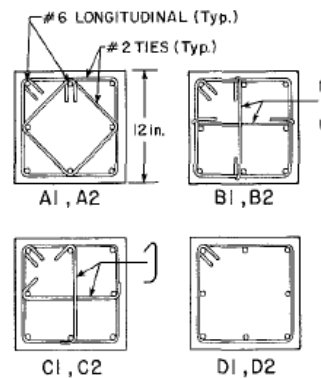
2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian penggunaan kait dengan sudut 90° pada tulangan pengekang kolom persegi mulai banyak dilakukan sejak tahun 1985. Berikut beberapa hasil penelitian penting terkait penggunaan tulangan pengekang dengan kait 90° :

Tanaka et.al (1985) menggunakan benda uji beton normal dengan pembebanan siklis, dilaporkan bahwa kolom dengan kait 90° memberikan hasil pengekanan yang cukup memuaskan hanya pada level beban aksial yang sangat rendah.

Mohle dan Cavanagh (1985) menggunakan benda uji kolom beton normal dengan pembebanan aksial konsentris, dengan konfigurasi seperti Gambar 1. Beberapa hal penting yang didapat dari eksperimen ini adalah :

- Urutan konfigurasi dimulai dari yang memiliki kekuatan dan daktilitas paling tinggi yaitu : A,B,C dan D
- Pengikat silang dengan kait 90 terbuka mengakibatkan berkurangnya dengan cepat efektivitas kekangan
- Penggunaan pengikat silang memberikan kekuatan dan daktilitas yang lebih baik daripada kolom dengan hoop tunggal



Gambar 1. Konfigurasi Tulangan Pada Eksperimen Mohle Dan Cavanagh (1985)

Rabbat et.al (1986), menggunakan benda uji beton normal dengan pembebanan siklis melaporkan bahwa pengikat silang dengan kait 135° dan 90° memberikan hasil yang cukup memuaskan dalam mengekan inti beton khusus untuk beban aksial rendah, degradasi kekuatan terjadi pada beban aksial yang semakin tinggi.

Ozcebe dan Saatcioglu (1987), melakukan eksperimen menggunakan benda uji beton normal dengan pembebanan aksial konsentris dan siklis. Dalam penelitian ini dilaporkan bahwa kolom dengan sengkang tertutup saja memiliki efektivitas kekangan yang kurang memadai dibandingkan kolom dengan sengkang tertutup yang diberikan pengikat silang. Pada beban aksial yang relatif rendah (kurang dari P balance) pengikat silang dengan kait 90° masih cukup memberikan performa yang memuaskan.

Sheikh dan Sakai (1989), menggunakan benda uji beton normal dengan pembebanan lentur dan aksial konsentris, melaporkan bahwa benda uji konfigurasi A dan F (Gambar 2) dengan pengikat silang memiliki performance yang lebih baik daripada konfigurasi E. Untuk beban siklis konfigurasi A menghasilkan efektivitas kekangan yg lebih baik. Pada saat mencapai tegangan leleh pengikat silang dengan kait 90 pada konfigurasi F mulai terbuka. Konfigurasi F efektif dalam mengekan inti beton pada deformasi kecil, pada deformasi besar ketika kait 90 mulai terbuka terjadi kegagalan yang bersifat brittle.



Gambar 2. Konfigurasi Tulangan Pada Eksperimen Sheikh Dan Sakai (1989)

Razvi and Saatcioglu (1989), menggunakan benda uji beton normal dengan pembebanan aksial konsentris melaporkan bahwa kolom dengan kait 135 menghasilkan kekuatan dan daktilitas yang lebih baik daripada kolom dengan kait 90.

Azizinamini dan Gosh (1997), melakukan penelitian kerusakan struktur kolom akibat gempa di Hyogoken-Nanbu tahun 1995, dalam laporan penelitiannya dilaporkan bahwa terjadinya kegagalan kolom dalam menahan beban gempa akibat tidak adanya pengikat silang dan kait ditekuk hanya dengan sudut 90^0 . Penggunaan tulangan pengekang dengan kait 90 mengakibatkan tidak efektifnya pengekangan dan tertekuknya tulangan longitudinal.

Wehbe, Saiidi and Sanders (1999), melakukan penelitian menggunakan benda uji beton normal dengan pembebanan aksial konsentris dengan level pembebanan berturut-turut 0.09, 0.1, 0.23 dan 0.24 $Ag.fc'$ dan beban lateral siklis, melaporkan terbukanya pengikat silang dengan kait 90 pada daerah sendi plastis di setiap level beban aksial, diikuti dengan terjadinya tekuk tulangan longitudinal yang mengakibatkan kegagalan pengekangan inti beton.

Lukkunaprasit dan Sttipunt (2003), melakukan pengujian kolom beton normal yang diberikan penambahan elemen "hook-clips" pada kait 90^0 dengan pembebanan aksial konsentris dan lateral siklis. Pada pengujian ini dilaporkan bahwa kolom dengan kait 90^0 tanpa clip mengalami kegagalan dengan terbukanya kait 90, penggunaan hook-clips efektif mencegah terbukanya kait 90^0 pada level beban aksial dan lateral yang moderate (level kegempaan moderate).

3. PROGRAM PENGUJIAN AKSIAL DAN LATERAL SIKLIS

3.1 Benda Uji.

Kode	P/Po	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal	Konfigurasi sengkang kait
------	------	-----------------------	----------------------	---------------------------

Benda uji dalam penelitian ini berjumlah 5 buah (Tabel 1), bentuk dan posisi pen-binder yang digunakan dalam penelitian ini adalah posisi yang menghasilkan daktilitas terbaik dari pengujian akibat beban aksial-konsentris yang telah dilakukan pada tahap eksperimen sebelumnya. Parameter yang divariasikan dalam penelitian ini adalah material pen-binder, sudut kait tulangan pengekang serta tingkat pembebanan aksial yang diberikan.

Tabel 1. Spesifikasi Benda Uji

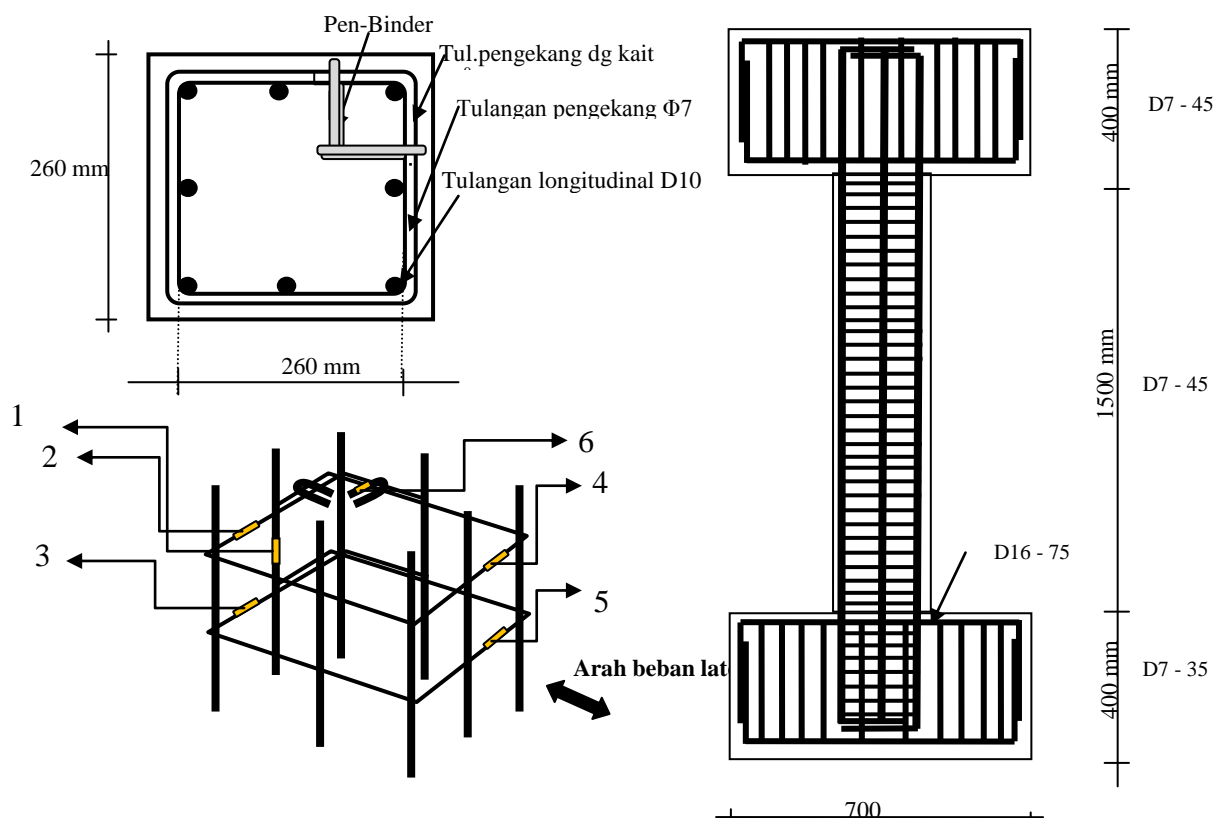
		$\rho_l(\%)$	$f_y(\text{Mpa})$	$s(\text{mm})$	$f_{ys}(\text{MPa})$	$(A_{sh})/(s.h_c),\%$	
E135-0-0.3	0.3	1.054	414	45	414	0.9	Kait 135
E90-2P1-0.3	0.3			45		0.9	Kait 90 +pen-binder baja
E90-2P2-0.3	0.3			45		0.9	Kait 90+pen-binder plastik
E135-0-0.5	0.5			45		0.9	Kait 135
E90-2P1-0.5	0.5			45		0.9	Kait 90 +pen-binder baja

Pen-binder menggunakan dua jenis material yaitu material baja dan material plastik ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). Sudut kait tulangan pengekang dibuat 90° (tidak sesuai standar) dengan tambahan pen-binder serta tulangan pengekang dengan sudut 135° (sesuai standar). Tingkat beban aksial yang diberikan dibagi dalam dua tingkat pembebanan yaitu sebesar 584 kN dan 986 kN, nilai pembebanan merepresentasikan rasio pembebanan terhadap kapasitas aksial kolom (P/P_o) sebesar berturut-turut 0.3 (level rasio moderate) dan 0.5 (level rasio tinggi). Mutu beton yang digunakan sebesar 27 MPa.

Seluruh benda uji memiliki dimensi yang sama dengan penampang sebesar 260 mm x 260 mm serta 1500 mm untuk ketinggiannya, detail penampang benda uji, pen-binder yang digunakan serta detail penulangan benda uji kolom dapat dilihat pada Gambar 3. Pada eksperimen ini kegagalan yang diharapkan adalah lelehnya tulangan longitudinal terlebih dahulu pada bagian ujung kolom pada saat menerima beban aksial dan lateral siklis sebelum mengalami kegagalan geser.

3.2 Test Setup dan Instrumentasi Benda Uji

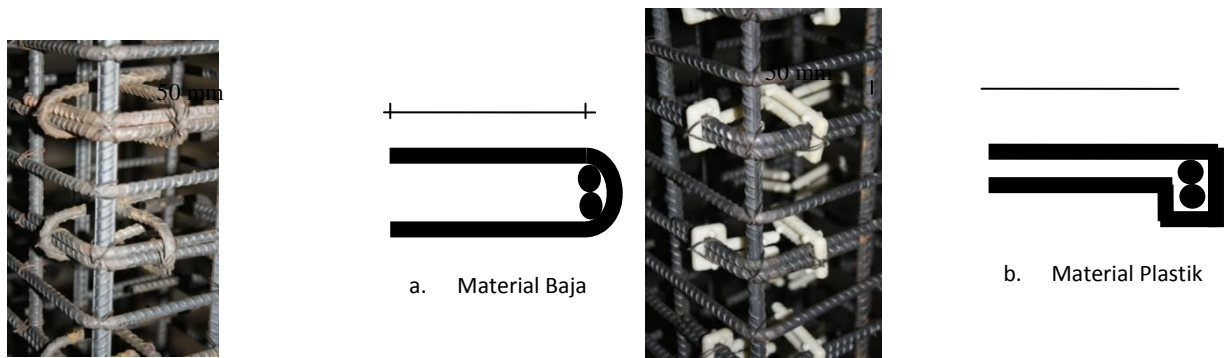
Untuk keperluan pengujian ini, pada masing-masing benda uji dipasang strain gauge serta LVDT untuk mengetahui besarnya perubahan regangan pada tulangan serta perpindahan yang terjadi pada benda uji untuk posisi-posisi yang telah ditentukan. Posisi tipikal pemasangan strain-gauge untuk salah satu ujung kolom benda uji dengan kait 90° dan diberikan pen-binder dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Benda Uji Kolom dan Penampang serta Posisi Strain Gauge

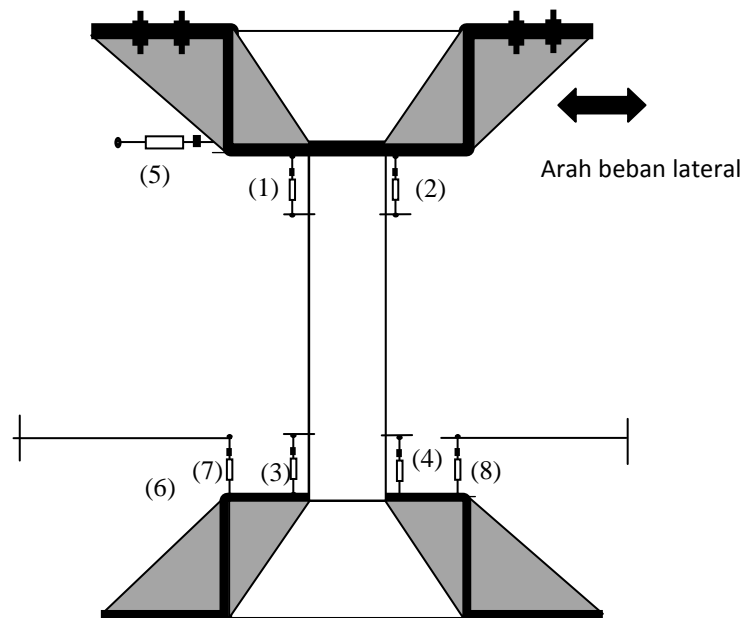
Penempatan strain gauge pada ujung atas identik dengan posisi strain gauge pada ujung bawah kolom. Titik (1) untuk mengetahui regangan tulangan longitudinal, titik (2) dan (3) untuk mengetahui regangan yang terjadi pada tulangan pengekang di daerah sisi yang terdapat pen-binder, titik (4) dan (5) untuk mengetahui regangan didaerah sisi tanpa pen-binder, sementara titik (6) untuk melihat regangan pada pen-binder.

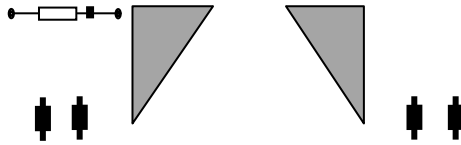
Pen-binder dipasang pada bagian kait yang ditekuk 90° ditengah-tengah antara tulangan longitudinal sudut dengan tulangan longitudinal disampingnya (Gambar 4). Dalam eksperimen ini seluruh daerah pengujian kolom sepanjang 1500 mm diberi pen-binder dengan posisi yang berselingan.



Gambar 4. Benda Uji Kolom dan Penampang serta Posisi Strain Gauge

LVDT ditempatkan pada kedua ujung dan kedua sisi kolom benda uji seperti terlihat pada Gambar 5.

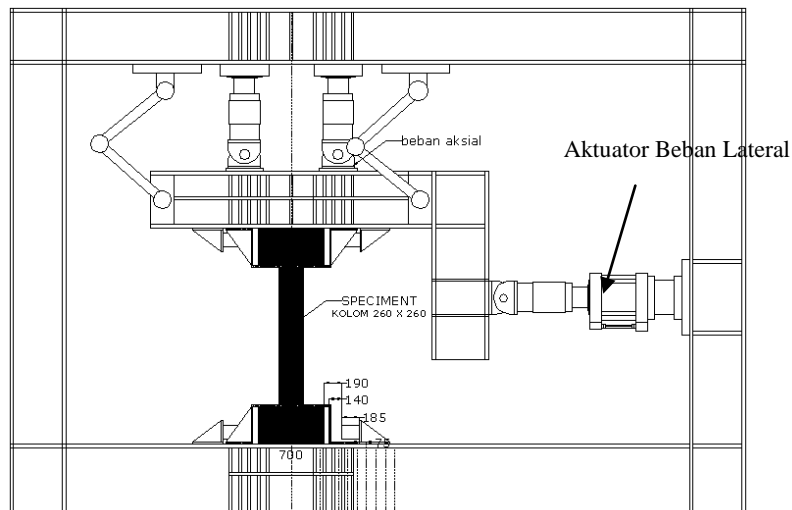
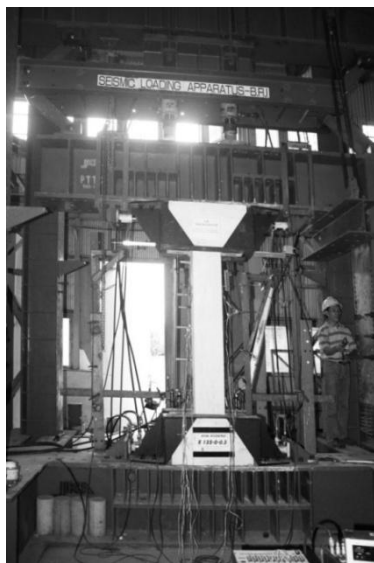




Gambar 5. Posisi LVDT Pada Benda Uji Dan Dudukan Benda Uji

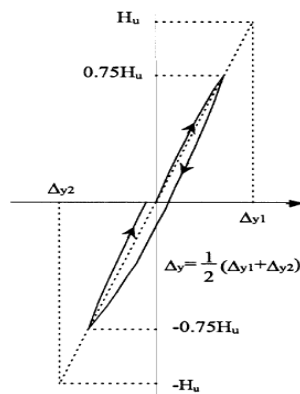
Posisi titik (1) sampai (4) untuk mengetahui besarnya deformasi aksial yang terjadi pada kedua ujung kolom didaerah sendi plastis dengan jarak 260 mm dari masing-masing ujung. Posisi di titik (5) dan (6) untuk mengetahui besarnya perpindahan arah lateral pada saat pengujian berlangsung, sementara LVDT pada titik (7) dan (8) untuk memastikan tidak ada deformasi vertikal pada dudukan kolom pada saat pembebanan. Pada kedua ujung kolom dibuat kepala kolom yang dijepit dengan menggunakan baja dan dibaut pada kedua sisi.

Test setup untuk seluruh benda uji dapat dilihat pada Gambar 6. Beban aksial diberikan dengan menggunakan 2 buah jack hidraulik berkapasitas total 200 tonf pada bagian atas, untuk mencatat besarnya beban aksial yang diberikan dipasang loadcell pada kedua aktuator hidraulik tersebut. Beban lateral diberikan dengan menggunakan aktuator berkapasitas 100 tonf yang dipasang sedemikian rupa sehingga menghasilkan beban lateral pada ujung atas kolom serta momen pada kedua ujung kolom.



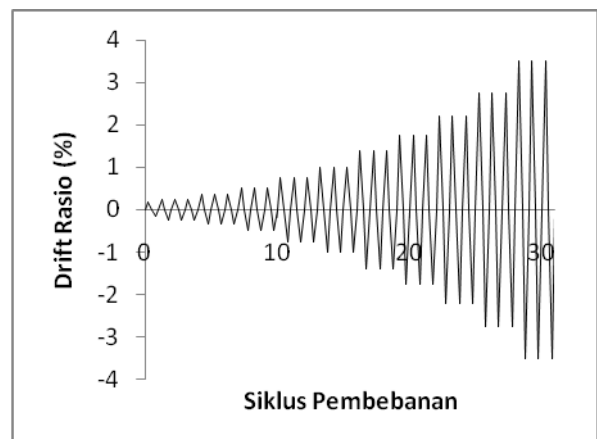
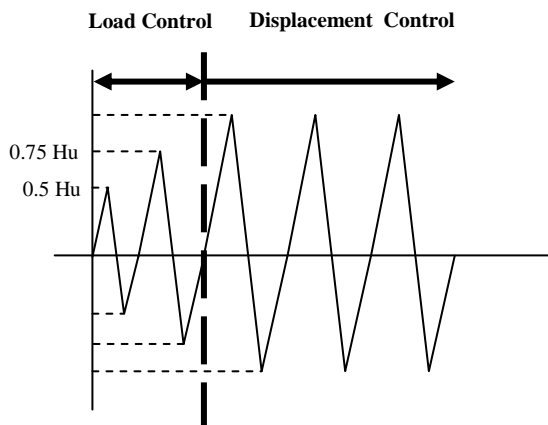
Gambar 6. Foto dan Ilustrasi Setup Alat Pengujian Aksial dan Lateral Siklis

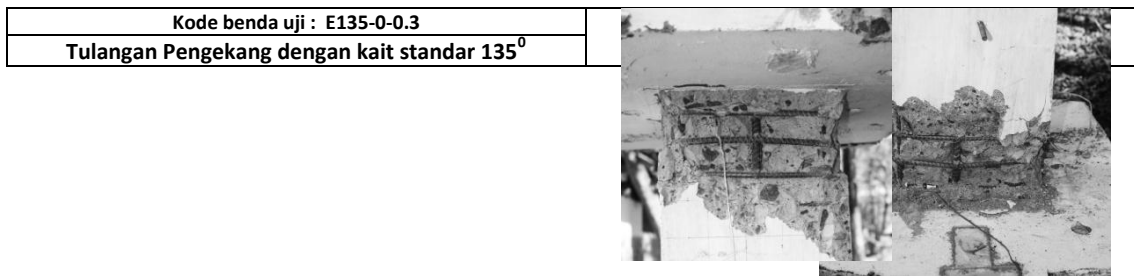
Standar pengujian dilakukan berdasarkan ACI 374.1-05 (Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary). Beban aksial konstan diberikan terlebih dahulu sebesar 584 kN(0.3Po) atau 986 kN(0.5Po) sesuai dengan level rasio beban aksial. Beban lateral diberikan dalam 2 tahap, yaitu diawali dengan tahap kontrol beban kemudian dilanjutkan dengan tahap berikutnya yaitu kontrol perpindahan. Tahap kontrol beban diberikan hingga sebesar 75% dari beban leleh hasil perhitungan teoritis, setelah titik ini dicapai dilanjutkan dengan tahap pembebanan lateral dengan kontrol perpindahan. Perhitungan perpindahan leleh pertama (first yield) dilakukan secara eksperimental dengan merata-ratakan nilai ekstrapolasi perpindahan (Δ_y) pada $0.75 H_u$ dan $-0.75 H_u$ (nilai H_u adalah nilai teoritis gaya lateral yang mengakibatkan leleh pertama pada benda uji kolom, Watson and Park 1994, Gambar 7)



Gambar 7. Definisi Leleh Pertama (Watson and Park, 1994)

Berdasarkan rata-rata perpindahan hasil ekstrapolasi pada titik leleh gesernya didapatkan perpindahan leleh dari benda uji sebesar $\Delta_y = 0.5(\Delta_{y1} + \Delta_{y2})$. Pembebanan siklis dilanjutkan dengan kontrol perpindahan dimulai dari perpindahan pada saat awal leleh tulangnya seperti yang telah didapatkan dari hasil rata-rata ekstrapolasi sebelumnya. Beban siklis lateral diberikan mengikuti siklus pembebanan seperti terlihat pada Gambar 8

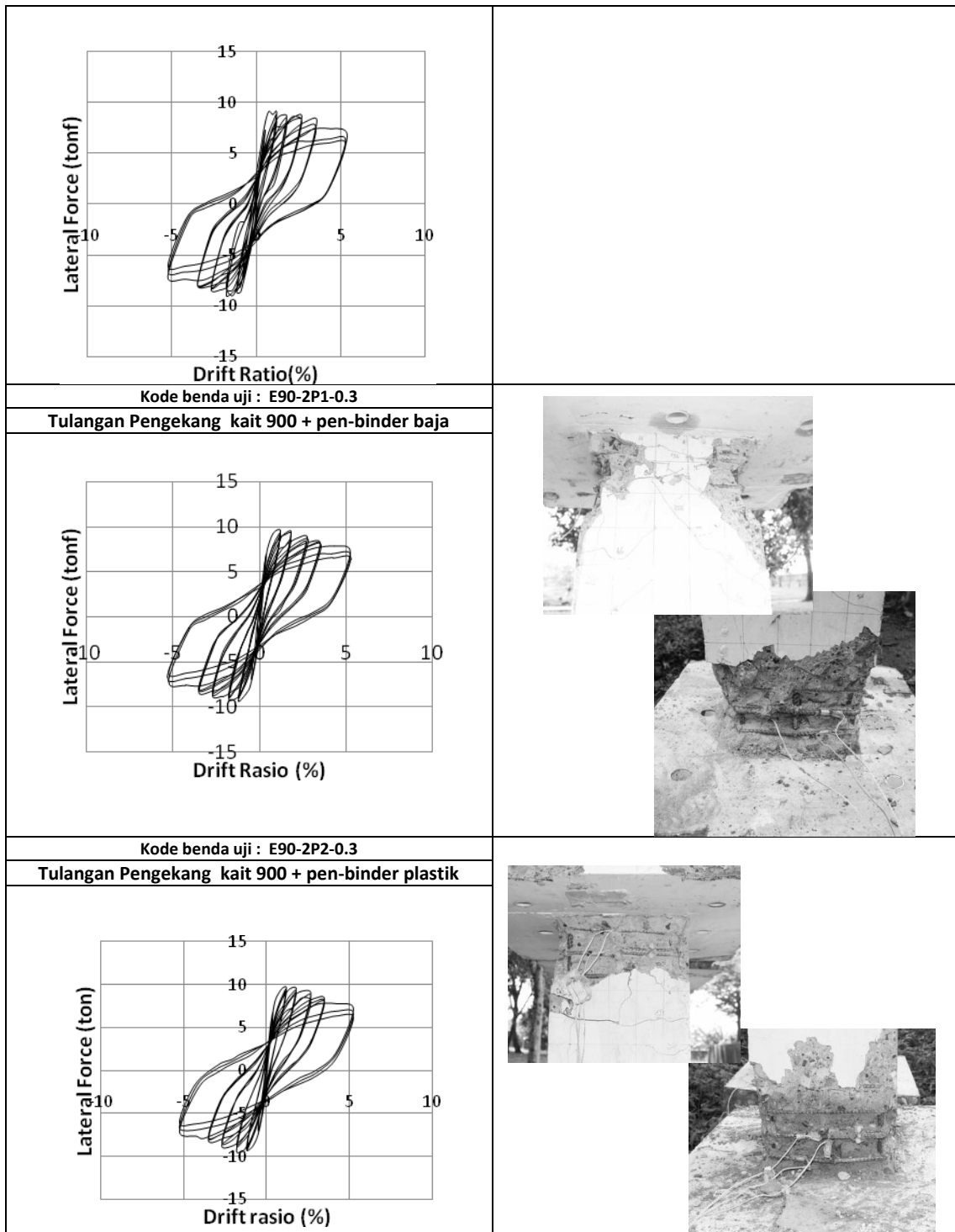




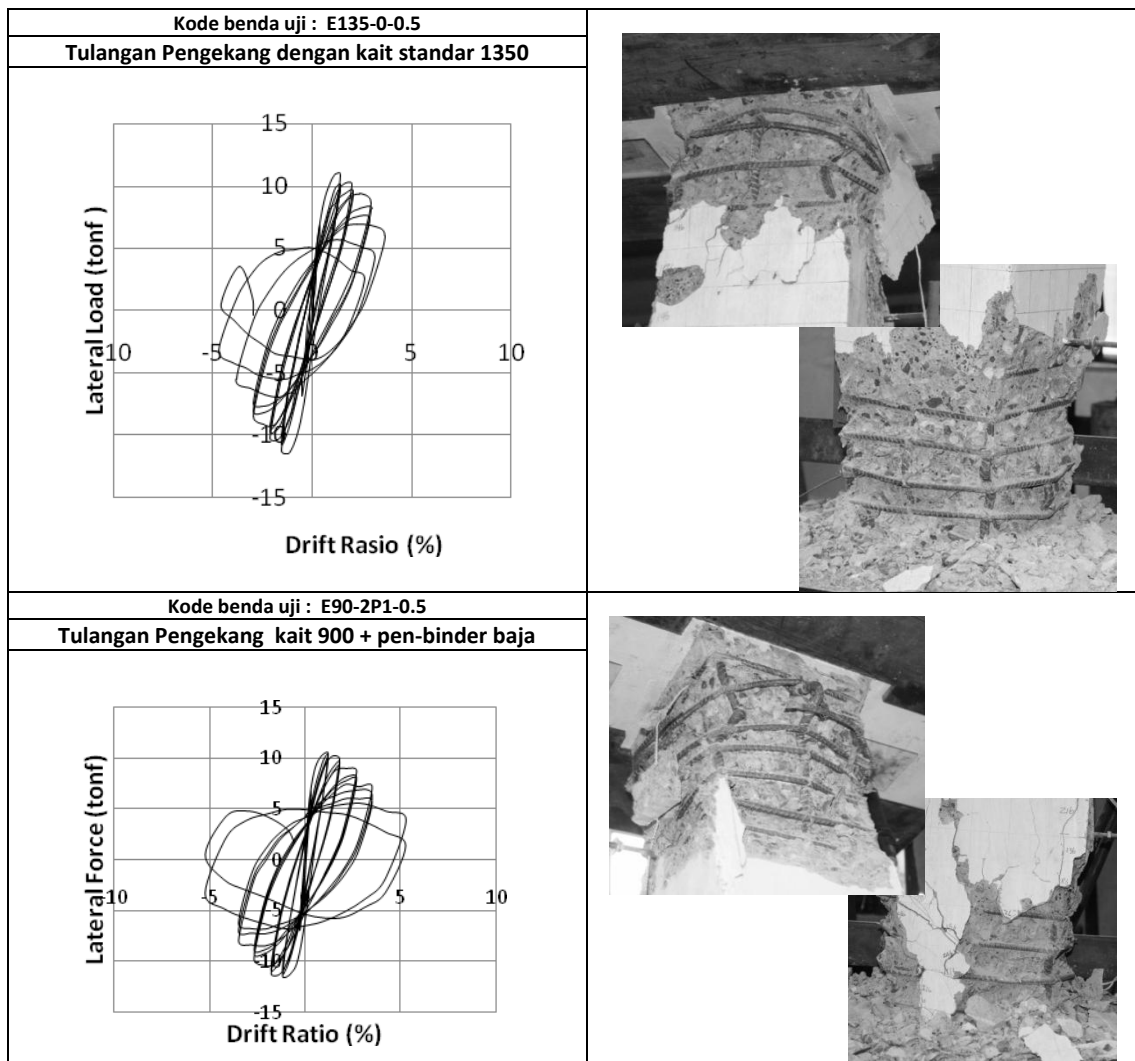
Gambar 8. Tipikal Siklus Pembebanan Lateral

4. HASIL PENGUJIAN

Perilaku hasil pengujian dan foto pada akhir pengujian untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 9 untuk level beban aksial $0.3P_0$ dan Gambar 10 untuk level beban aksial $0.5P_0$. Dari grafik terlihat bahwa seluruh benda uji memiliki perilaku dengan bentuk kurva histerisis yang baik dan memperlihatkan kegagalan lentur. Untuk seluruh benda uji pada umumnya retak pertama terjadi pada drift $\pm 1.2\%$.

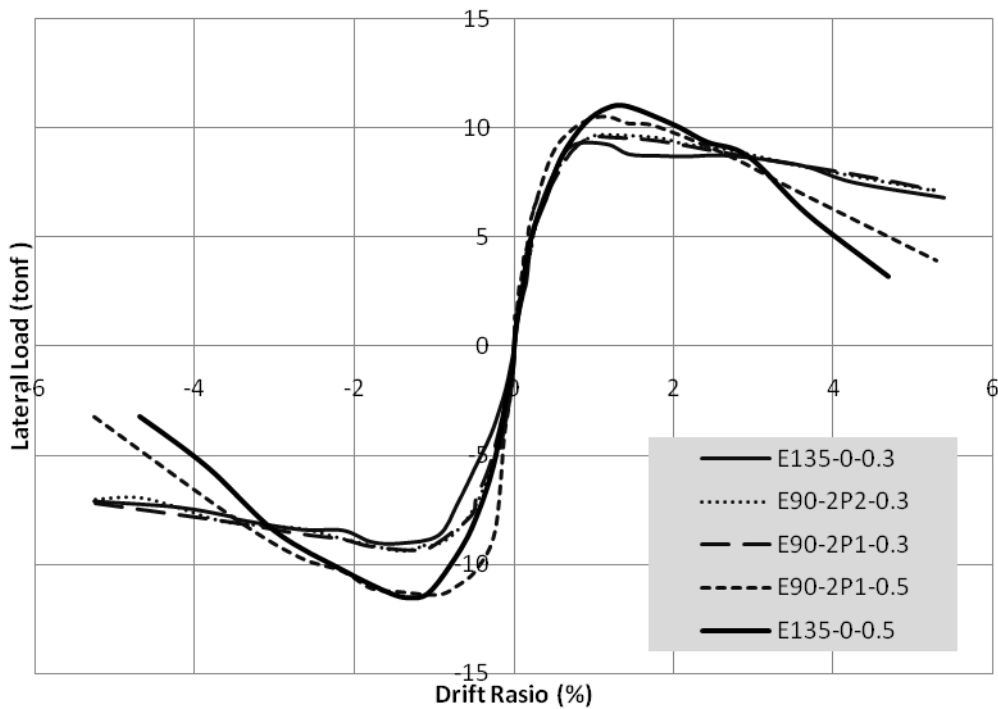


Gambar 9. Perilaku Benda Uji dan Foto Pada Akhir Pengujian untuk Level Axial 0.3 P_0



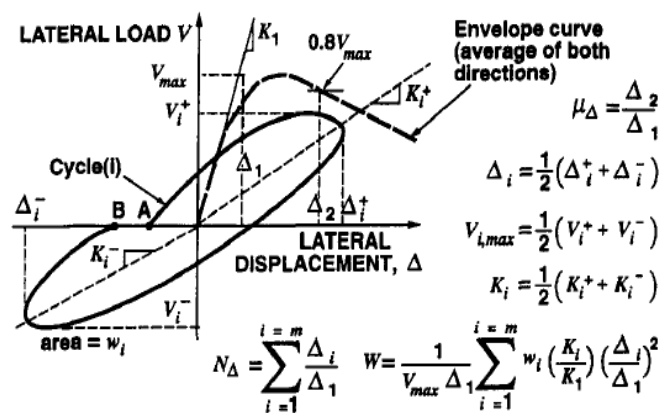
Gambar 10. Perilaku Benda Uji dan Foto Pada Akhir Pengujian untuk Level Axial $0.5 P_0$

Pada umumnya tulangan pengekang mengalami leleh terlebih dahulu, diikuti tulangan longitudinal dan selanjutnya terjadi buckling pada tulangan longitudinal yang mempercepat terjadinya penurunan kekuatan. Pada level beban aksial moderate ($0.3P_0$) perilaku kurva histerisis untuk ketiga benda uji terlihat mirip, ketiga benda uji menunjukkan perilaku histerisis yang stabil hingga drift 3.5 %, pengujian dihentikan pada drift 5.2 % dengan kondisi sudah terjadinya *buckling* pada tulangan longitudinal pada kedua ujung kolom. Sementara pada level beban aksial yang tinggi ($0.5P_0$) terlihat adanya perbedaan yang cukup signifikan. Benda uji dengan kait standar cenderung cepat mengalami penurunan kekuatan, pengujian untuk benda uji ini dihentikan sebelum mencapai drift 5.2 % akibat putusnya tulangan pengekang pada drift 3.51 %. Sementara benda uji dengan kait tidak standar dengan pemberian pen-binder menunjukkan perilaku yang jauh lebih baik, meskipun tetap mengalami putusnya tulangan pengekang tetapi pada drift yang lebih tinggi sebesar 5 %. Kurva envelope kelima benda uji dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Kurva Envelope Perilaku Benda Uji

Untuk menentukan besarnya nilai daktilitas, perhitungan besarnya nilai daktilitas benda uji kolom pada penelitian ini mengacu kepada metoda yang digunakan oleh Bayrak dan Sheikh (1998) seperti yang terlihat pada Gambar 12. Kurva *envelope* merupakan nilai rata-rata dari dua arah hubungan beban lateral dan perpindahan. Nilai $0.8 V_{max}$ yang merupakan titik terjadinya penurunan gaya lateral benda uji sebesar 20% adalah kriteria nilai perpindahan ultimate. Daktilitas dihitung dari rasio perpindahan ultimate (Δ_2) dan perpindahan pada saat pertama leleh (Δ_1) sesuai dengan definisi yang diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 12. Definisi Parameter Daktilitas (Bayrak dan Sheikh, 1998)
 Hasil perhitungan gaya lateral maksimum (V_{max}) serta daktilitas pada $0.8 V_{max}$ ($\mu_{0.8}$) untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Tabel Hasil Pengujian Benda Uji

Kode Benda Uji	V_{max} (tonf)	$0.8V_{max}$ (tonf)	$\Delta_1 = \Delta_y$ (mm)		$\Delta_2 = \Delta_u$ (mm)		$\mu_{0.8}$	Keterangan
				drift (%)		drift (%)		
E135-0-0.3	9.13	7.3	10.5	0.70	66	4.40	6.29	Kait standar
E90-2P1-0.3	9.46	7.56	9.15	0.61	68.75	4.58	7.51	Kait 90+pen binder baja
E90-2P2-0.3	9.51	7.61	8.5	0.57	63.5	4.23	7.47	Kait 90+pen binder plastik
E135-0-0.5	11.25	9.00	11.00	0.73	42.00	2.80	3.82	Kait standar
E90-2P1-0.5	10.97	8.77	6.38	0.43	44	2.93	6.90	Kait 90+pen binder baja

Pada level beban aksial $0.3P_0$, daktilitas benda uji kolom yang diberikan pen-binder lebih baik daripada benda uji dengan pengekang standar yang memiliki kait 135^0 . Terjadi peningkatan nilai daktilitas dari nilai daktilitas untuk pengekang dengan kait standar (135^0) hingga 19.5 % dan 18.9 % untuk penambahan pen-binder dengan material baja dan plastik. Sementara perbedaan penggunaan pen-binder dari material baja dan plastik tidak memberikan perbedaan hasil yang signifikan untuk nilai daktilitasnya. Pada eksperimen ini pen-binder dari material plastik digunakan untuk menghindari terjadinya korosi akibat berkurangnya selimut beton karena pemasangan pen-binder. Pada Gambar 13 terlihat bahwa pen-binder dengan material plastik sanggup mempertahankan posisi tulangan pengekang tetap pada tempatnya sekalipun tulangan longitudinal sudah mengalami *buckling*.



Gambar 13. Foto Benda Uji pada Akhir Pengujian dengan Pen-binder dari Material Plastik

Pada level beban aksial yang dinaikkan hingga $0.5 P_0$, terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara benda uji kolom dengan kait standar dengan benda uji yang memiliki kait tidak standar yang diberi tambahan pen-binder baja. Pemberian beban aksial dari $0.3P_0$ hingga $0.5P_0$ meningkatkan kapasitas gaya lateral rata-rata sebesar 18.5 % dibandingkan benda uji dengan beban aksial $0.3 P_0$. Penambahan pen-binder pada kait tidak standar memberikan peningkatan daktilitas secara signifikan hingga sebesar 82 % dari daktilitas pada benda uji dengan kait standar. Pada level aksial yang cukup tinggi terlihat perbedaan yang cukup signifikan karena pen-binder bekerja lebih

maksimal dengan memanfaatkan tingginya gaya aksial yang menekan inti kolom sehingga menambah aksi pengangkuran pen-binder pada inti kolom yang terkekang.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian aksial dan lateral siklis untuk 5 buah benda uji kolom dapat disimpulkan hasilnya sebagai berikut :

1. Penggunaan kait yang tidak standar dengan penambahan pen-binder (plastik maupun baja) yang merupakan modifikasi pemasangan tulangan pengekang memberikan hasil yang mendekati bahkan lebih baik daripada kolom yang menggunakan pengekang dengan kait standar 135° .
2. Pada level beban aksial yang lebih tinggi ($0.5P_0$) penggunaan pengekang dengan kait tidak standar ditambah pen-binder baja memberikan nilai daktilitas yang jauh lebih baik daripada benda uji kolom yang menggunakan kait standar 135° dengan peningkatan sebesar 82%.
3. Penggunaan material pen-binder baja ataupun plastik dalam pengujian ini memberikan hasil yang relatif sama pada level beban aksial moderate ($0.3P_0$)

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Program Hibah Strategis Nasional Tahun 2010 dari DP2M Dikti, Kementerian Pendidikan Nasional.

Laboratorium Struktur Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen PU, Jl. Panyaungan Cileunyi Wetan, Kab. Bandung.

7. DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 374 (2005) .*Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*). ACI 374.1-05.
- Azizinamini A and Gosh S.K. (1997). " *Steel Reinforced Concrete Structures in 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake*", Journal of Structural Engineering,ASCE, Vol. 123, No. 8 Aug, pp 986-992.
- Bayrak, O. and Sheikh, S.A. (1998). "*Confinement Reinforcement Design Consideration for Ductile HSC Column*", Journal of Structural Engineering, ASCE, V.124, No.9, Sept 1998, pp 999-1010.
- Imran, I., Hoedajanto, D., Suharwanto. (2005). "*Beberapa Pelajaran dari Gempa Aceh; Tinjauan Kinerja Dua Bangunan Perkantoran di Banda Aceh*", Seminar Gempa HAKI 2005, Jakarta, 25 Mei, (ISBN 979-98441-2-6)
- Imran, I., Suarjana, M., Hoedajanto, D., Soemardi, B., Abduh, M. (2006). "*Beberapa Pelajaran dari Gempa Yogyakarta; Tinjauan Kinerja Struktur Bangunan Gedung*", Jurnal HAKI, Vol. 7, No. 1, hal. 1-13 (ISSN No. 0216/5457)
- Imran, I.(2007). "*The 6 March 2007 West Sumatera Earthquake-Lesson Learned and Recommendations*", Prosiding The International Symposium on Disaster in Indonesia (ISDI): Problem and Solution, 26-28 Juli, Padang.

- Lukkunaprasit, P ; Sittipunt C. (2003). "*Ductility Enhancement of Moderately Confined Concrete Tied Column with Hook-Clips*", ACI Structural Journal, V. 100, No. 4, July.-August. 2003, pp. 422-429.
- Moehle J.P and Cavanagh T. (1985), "*Confinement Effectiveness of Crossties in RC*", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol 111. No.10 Oct, 1985.
- Ozcebe, G and Saatcioglu, M. (1987). "*Confinement of Concrete columns for seismic Loading*", ACI Structural Journal, V. 84, No. 4, July.-August. 1987, pp. 308-315.
- Purwono, R., Tavio, Imran, I., Raka, I.G.P.(2006). "*Indonesian Concrete Code for Buildings (SNI 03-2847-2002) with Commentary*", ITS Press, Surabaya, Indonesia.
- Rabbat, B.G; Daniel, J.L; Weinnmann, T.L.; and Hanson, N.W.(1986). "*Seismic Behavior of Lightweight and Normal Weight Concrete Columns*", ACI Journal, Proceedings V.83, No.1, Jan-Feb 1986, pp 69-79.
- Razvi S.R and Saatcioglu M.(1989). "*Confinement of Reinforced Concrete Column with Welded Wire Fabric*", ACI Structural Journal, V. 86, No. 5, Sept-Oct. 1989, pp. 615-623.
- Sakai K and Sheikh S.A. (1989). "*What Do We Know about Confinement in Reinforced Concrete Column ?(A Critical Review of Previous Work and Code Provision)*", ACI Structural Journal, V. 86, No. 2, Mar-Apr. 1989, pp. 192-207.
- Tanaka, H; Park, R; and McNamee, B.(1985). "*Anchorage of Transverse Reinforcement in Rectangular Reinforced Concrete Columns in Seismic Design*", Bulletin, New Zealand National Society for Earthquake Engineering (Wellington), v. 18, No.2, June 1985, pp 165-190.
- Watson, S., and Park, R.(1994). "*Simulated Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Columns*", Journal of Structural Engineering, ASCE, V. No. 6, June 1994, pp. 1825-1849/120.
- Wehbe, N. I.; Saiidi M. S.; and Sanders, D. H.(1999). "*Seismic Performance of Rectangular Bridge Columns with Moderate Confinement*", ACI Structural Journal, V. 96, No. 2, Mar.-Apr. 1999, pp. 248-258.