

EFEK KONFIGURASI TULANGAN LATERAL TERHADAP PERILAKU KEKUATAN DAN DAKTILITAS KOLOM BETON MUTU NORMAL DAN MUTU TINGGI

Antonius ¹⁾, Iswandi Imran ²⁾ dan Prabowo Setiyawan¹⁾

ABSTRAK

Paper ini menyajikan suatu studi eksperimental pada kolom beton, yang bertujuan untuk mengetahui perilaku kekuatan dan daktilitas beton terkekang berpenampang persegi terhadap beban konsentrik. Konfigurasi tulangan lateral dalam mengontrol kekuatan dan daktilitas beton terkekang pada kolom merupakan parameter utama dalam studi ini. Program eksperimen dilakukan dengan membuat benda uji kolom pendek (short column) sebanyak 23 buah. Desain penampang kolom mempunyai ukuran 100x100 mm, tinggi kolom adalah 500 mm dan tanpa menggunakan selimut beton. Kuat tekan beton dirancang untuk beton mutu normal sampai mutu tinggi ($30 < f_c' < 75$ MPa). Hasil penting dari studi ini adalah bahwa konfigurasi tulangan lateral yang digunakan memegang peranan yang signifikan dalam menentukan perilaku kekuatan dan daktilitas beton mutu normal maupun beton mutu tinggi terkekang. Hasil lainnya adalah bahwa peningkatan kekuatan dan daktilitas beton terkekang cenderung menurun dengan meningkatnya kuat tekan beton yang digunakan.

Kata-kata kunci: beton terkekang, konfigurasi tulangan

ABSTRACT

This paper summarizes an experimental study on the concrete columns which objectives to study the behaviour of strength and ductility of rectangular confined concrete subjected concentric axial loads. The main parameter was the configuration type of lateral reinforcement. Twenty three specimens were cast. All the specimens were prismatic short column 100x100x500 mm and without the concrete cover. Mix design of the compressive strength of concrete cylinders include for normal and high strength concrete. Experimental results reported here indicated that the configuration of lateral reinforcement is the role to governing of strength and ductility behaviour for confined both normal and high strength concrete. Enhancement of strength and ductility of confined concrete tends decrease with the increase of the concrete compressive strength.

Keywords: confined concrete, configuration of reinforcement

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan daerah yang mempunyai intensitas gempa yang cukup tinggi. Oleh karena itu struktur bangunan harus didesain sedemikian rupa agar mampu menyerap energi gempa sehingga berperilaku daktil. Dalam kenyataannya, komponen struktur yang langsung mengalami beban gempa adalah struktur kolom, sehingga dalam melakukan desain dan pendetailan tulangan memerlukan penanganan khusus, terlebih untuk kolom yang terbuat dari beton mutu tinggi yang mempunyai sifat lebih getas daripada beton mutu normal. Perancangan struktur beton tahan gempa yang baik dapat dihasilkan bila diketahui berbagai sifat dan karakteristik dari beton dan baja

tulangan yang meliputi kekuatan (*strength*), energi absorpsi, energi disipasi serta daktilitas.

Filosofi desain struktur tahan gempa yang menggunakan konsep “kolom kuat, balok lemah” mensyaratkan bahwa setelah struktur mengalami beban gempa, sendi plastis boleh terjadi pada balok dan tidak pada kolom. Hal ini dimaksudkan agar struktur masih tetap dapat berdiri dan orang yang berada di atasnya sempat untuk menyelamatkan diri. Pada prakteknya, saat beban gempa terjadi, daerah yang memikul momen maksimum pada kolom tetap mengalami sendi plastis. Kolom daerah dekat perletakan (memikul momen maksimum) akan mengalami penurunan kekuatan yang getas akibat lepasnya selimut beton serta penurunan tegangan beton setelah respon puncak secara tiba-tiba.

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung – Semarang

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil – Institut Teknologi Bandung

Untuk mempertahankan kekuatan kolom setelah lepasnya selimut beton, daerah inti beton harus mengalami peningkatan kekuatan. Hasil studi yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa pemasangan tulangan lateral pada kolom beton dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitasnya [Imran dkk., 1999]. Oleh karena itu, untuk tetap mempertahankan kekuatan dan daktilitas pada daerah momen maksimum kolom, beton pada daerah inti harus memperoleh kekangan lateral yang cukup. Beberapa faktor yang mempengaruhi perilaku kekangan pada beton diantaranya adalah kuat tekan beton (f_c'), konfigurasi dan spasi tulangan lateral. Berbeda dengan penampang bulat yang mempunyai sifat kekangan sempurna, pada penampang persegi kekangan yang terjadi tidak sempurna seperti penampang bulat. Hal ini disebabkan karena pada penampang persegi kekangan hanya efektif pada sudut-sudut tulangan ties-nya.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk mengetahui efek dari bentuk konfigurasi tulangan lateral terhadap kekuatan dan daktilitas kolom beton penampang persegi. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan eksperimen di laboratorium. Parameter utama yang ditinjau dalam pengujian meliputi kuat tekan beton (f_c'), karakteristik tulangan lateral yaitu konfigurasi tulangan lateral.

2. Konfigurasi Tulangan Lateral

Konfigurasi tulangan pada penampang persegi adalah parameter yang tidak terdapat pada penampang bulat, dan parameter ini memegang peranan yang sangat signifikan dalam mengontrol deformasi kolom, terlebih pada struktur yang menahan beban gempa [Moehle & Cavanagh, 1985]. Geometri zona terkekang yang terbentuk kadangkala mengakibatkan efektifitas kekangan akan menjadi salah estimasi, apabila konfigurasi tulangan tidak diperhitungkan sehingga dapat menimbulkan ketidakpastian dalam desain struktur.

Penentuan daerah efektif terkekang pada sistim kekangan pasif sangat penting dilakukan karena mempengaruhi besarnya tegangan lateral aktual yang

bekerja pada kolom beton terkekang. Daerah efektif terkekang terkait erat dengan konfigurasi tulangan lateral dan konfigurasi tulangan longitudinal. Pada kolom penampang bulat, daerah yang efektif terkekang dapat dianggap sempurna, karena bentuk dari sengkang yang mengikuti bentuk lingkaran dapat menimbulkan tekanan merata ke sekeliling lingkaran. Tetapi pada penampang persegi daerah efektif terkekang tidak sebaik pada penampang bulat, karena kekangan paling efektif terjadi hanya pada sudut tulangan ties-nya (gambar 1). Oleh karena itu terdapat faktor koreksi yaitu efektifitas kekangan untuk penampang persegi yang dirumuskan sebagai berikut [Antonius dkk., 2004]:

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w_i')^2}{6b_c d_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{(1 - \rho_{cc})}$$

dimana : b_c dan d_c adalah dimensi inti penampang

Daerah efektif terkekang penampang persegi akan semakin meningkat apabila sudut bengkokan (*hook*) yang dipasang tulangan longitudinal semakin banyak.

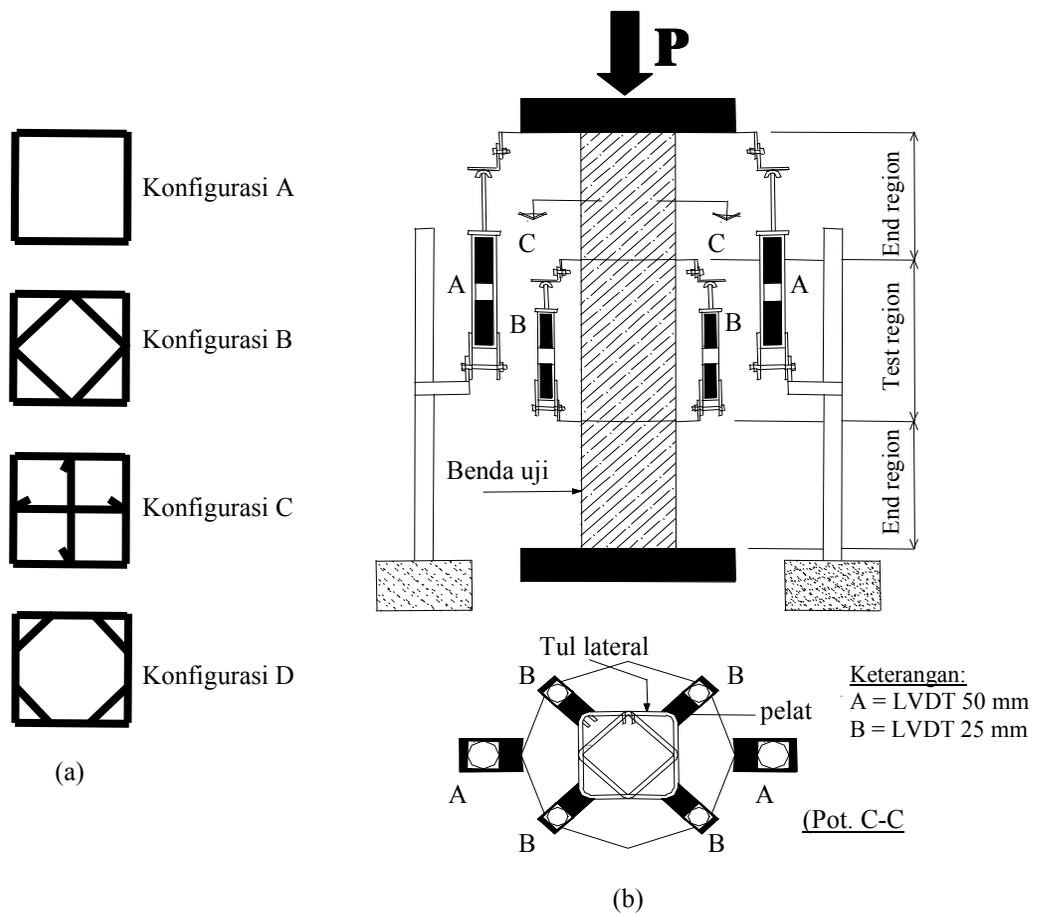
3. Program Eksperimen

3.1. Material

Kuat tekan beton yang dirancang dibagi dalam 3 jenis yaitu mutu rendah ($f_c' \approx 30$ MPa) yang diberi kode L (*low*), mutu menengah ($f_c' \approx 50$ MPa) diberi kode M (*medium*) dan mutu tinggi ($f_c' \approx 65$ MPa) diberi kode H (*high*). Agregat halus yang digunakan berasal dari Galunggung, sedangkan agregat kasar menggunakan agregat dari lokasi Watugong Semarang, dengan diameter agregat maksimum adalah 14 mm. Semen yang digunakan adalah semen Portland merk Nusantara dengan BJ 3,11. Khusus untuk beton mutu tinggi menggunakan tambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) dengan prosentase 1,5% dari berat semen. Diameter tulangan lateral adalah 5,5 mm yang mempunyai tegangan leleh 500 MPa.



Gambar 1. Pengekangan pada penampang persegi dan bulat



Gambar 2. (a) Konfigurasi tulangan lateral ; b) Instrumentasi spesimen

3.2. Benda uji

Benda uji kolom pendek (*short column*) yang dikaji adalah sebanyak 23 buah. Ukuran kolom adalah 100x100x500 mm dan didesain tanpa selimut beton. Daerah uji (*test region*) kolom diambil sebesar 200 mm, yang terletak ditengah – tengah kolom. Konfigurasi tulangan lateral kolom terdiri dari 4 tipe, terlihat pada gambar 2a. Detail tulangan lateral kolom ditunjukkan pada tabel 1.

3.3. Prosedur pembebanan

Pengujian kolom dan perlengkapan teknis pengujian terlihat pada gambar 2b. Pada daerah pengujian (*test region*) dipasang 4 buah LVDT arah vertikal untuk mengukur deformasi kolom pada arah aksial, serta pada tulangan lateral dipasang *strain gauge* jenis FLA 3 – 11. Kabel – kabel dari LVDT maupun *strain gauge* selanjutnya dihubungkan ke *Data Logger*. Pembebanan pada kolom dilakukan secara langsung dan bertahap dengan sistem pengujian *Displacement – Control* dengan kecepatan 0,01 mm/second. Mesin uji tekan adalah UTM (*Universal Testing Machine*) merk DARTEC dengan kapasitas efektif 1200 kN.

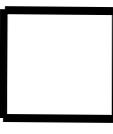
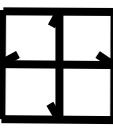
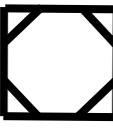
4. Hasil Eksperimen dan Pembahasan

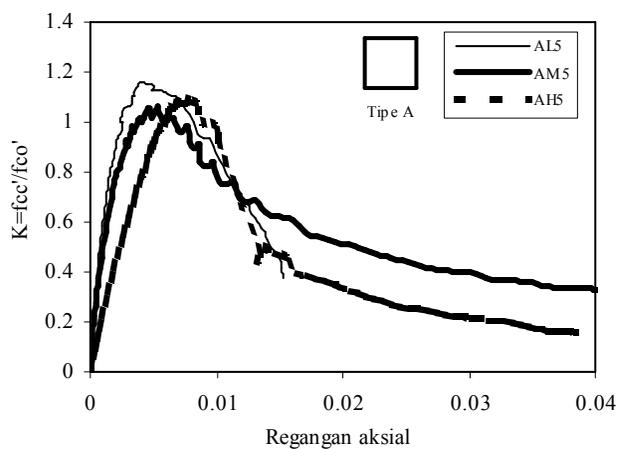
Nilai Poisson untuk beton mutu rendah, mutu menengah dan mutu tinggi yang diperoleh dari hasil pengujian masing-masing adalah sebesar 0,31; 0,29 dan 0,275. Hasil eksperimen lainnya seperti peningkatan kekuatan beton terkekang ($K=f_{cc}'/f_{co}'$) dan regangan beton terkekang ditunjukkan pada tabel 1, dan perilaku tegangan-regangan beton terkekang diperlihatkan pada gambar 3 sampai 9. Sedangkan gambar 10 menunjukkan pengaruh perubahan kuat tekan beton terhadap nilai K.

4.1. Pengaruh kuat tekan beton (f_c')

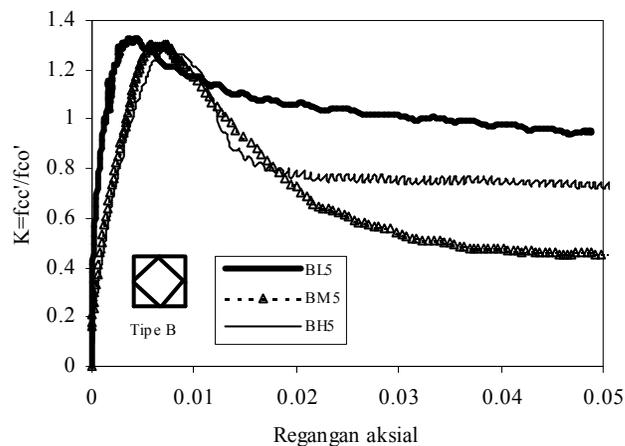
Secara umum pada semua konfigurasi tulangan lateral, peningkatan kekuatan beton terkekang (K) cenderung menurun dengan meningkatnya kuat tekan beton yang digunakan (tabel 1). Indikasi tersebut terlihat misalnya spesimen dengan konfigurasi A, dimana nilai K untuk spesimen AL5, AM5 dan AH5 masing-masing adalah 1,26; 1,12 dan 1,1. Penurunan nilai K dengan kondisi yang sama juga terjadi untuk konfigurasi tulangan B, C dan D. Salah satu penyebab penurunan nilai K tersebut dipengaruhi dari mengecilnya nilai Poisson untuk kuat tekan beton yang lebih tinggi.

Tabel 1. Detail tulangan lateral kolom dan hasil pengujian

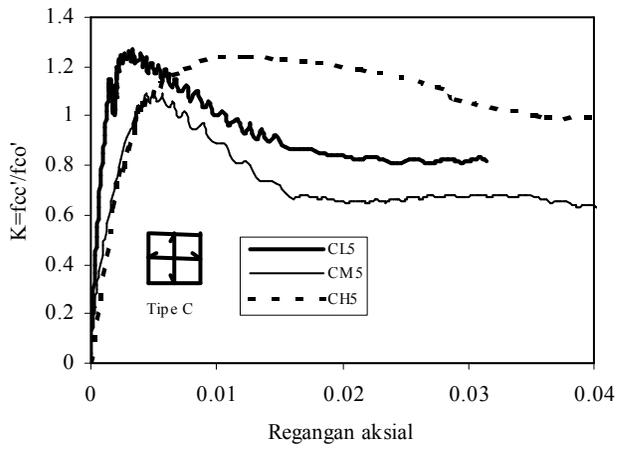
Kode Spesimen	f_c' (MPa)	Tulangan lateral			f_{co}' (MPa)	ϵ_{cc}'	f_{cc}' (MPa)	$K = \frac{f_{cc}'}{f_{co}'}$
		Konfigurasi	\varnothing -Spasi (mm)	ρ_s (%)				
SCL	34	-	-	-	29,142	0,0028	-	-
SCM	45	-	-	-	38,171	0,0030	-	-
SCH	67	-	-	-	54,818	0,0041	-	-
AL5	34		5,5 – 50	1,90	29,142	0,0041	33,802	1,16
AM5	45		5,5 – 50	1,90	38,171	0,0045	40,203	1,12
AM10			5,5 – 100	0,95	38,171	0,0030	36,576	0,96
AH5	67		5,5 – 50	1,90	54,818	0,0078	59,711	1,10
AH10			5,5 – 100	0,95	54,818	0,0051	53,126	0,97
BL5	34			5,5 – 50	3,24	29,142	0,0017	33,690
BM5	45	5,5 – 50		3,24	38,171	0,0057	49,880	1,31
BM10		5,5 – 100		1,62	38,171	0,0026	35,130	0,92
BH5	67	5,5 – 50		1,24	54,818	0,0071	70,730	1,29
BH10		5,5 – 100		1,62	54,818	0,0039	55,980	1,02
CL5	34			5,5 – 50	2,85	29,142	0,0031	36,870
CM5	45		5,5 – 50	2,85	38,171	0,0051	42,020	1,24
CM10			5,5 – 100	1,43	38,171	0,0034	36,920	0,97
CH5	67		5,5 – 50	2,85	54,818	0,0125	67,930	1,10
CH10			5,5 – 100	1,43	54,818	0,0031	55,650	1,02
DL5	34			5,5 – 50	3,47	29,142	0,0071	43,770
DM5	45	5,5 – 50		3,47	38,171	0,0091	49,720	1,30
DM10		5,5 – 100		1,73	38,171	0,0039	33,620	0,88
DH5	67	5,5 – 50		3,47	54,818	0,0107	62,530	1,16
DH10		5,5 – 100		1,73	54,818	0,0050	57,000	1,04



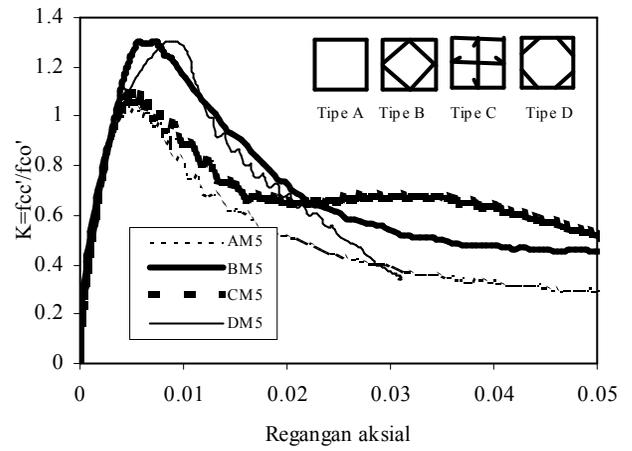
Gambar 3. Kurva pengaruh f_c' , konfigurasi A



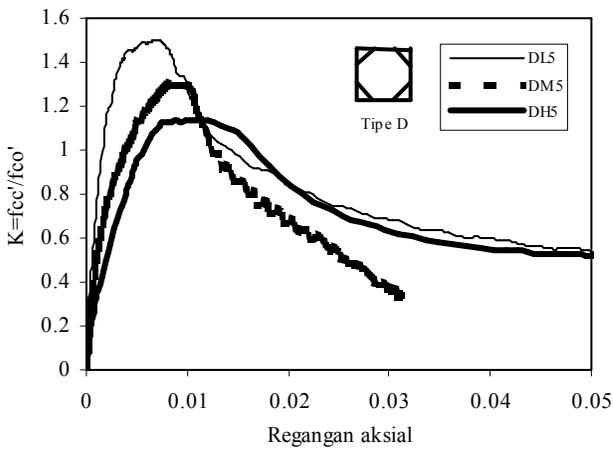
Gambar 4. Kurva pengaruh f_c' , konfigurasi B



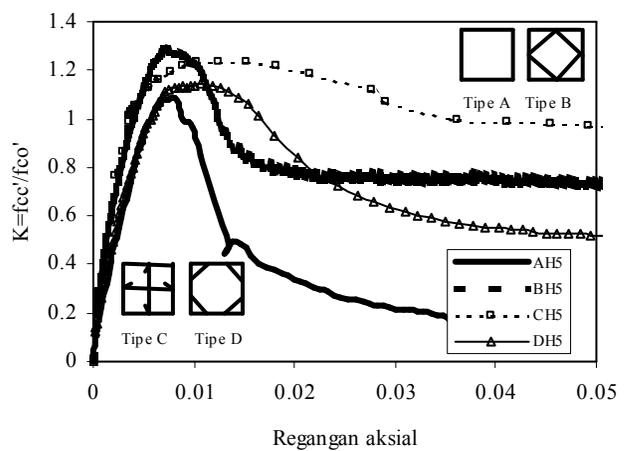
Gambar 5. Kurva pengaruh f_c' , konfigurasi C



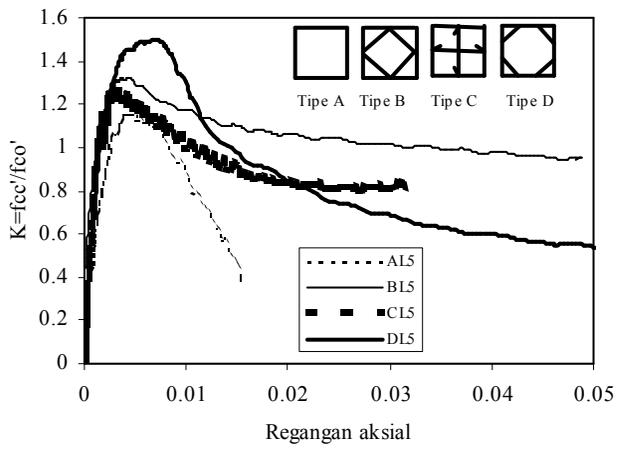
Gambar 8. Kurva pengaruh konfigurasi tulangan, $f_c'=45$ MPa



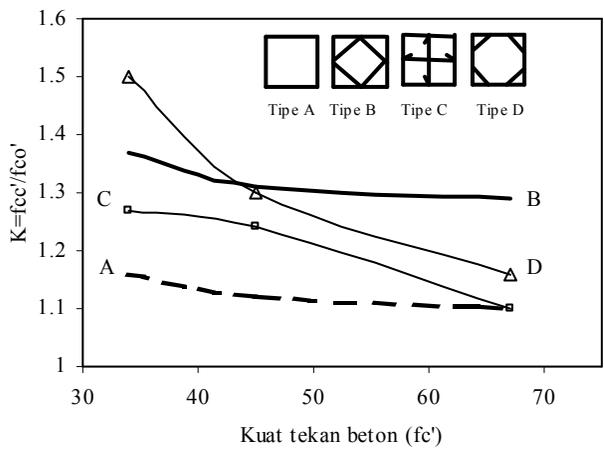
Gambar 6. Kurva pengaruh f_c' , konfigurasi D



Gambar 9. Kurva pengaruh konfigurasi tulangan, $f_c'=67$ MPa



Gambar 7. Kurva pengaruh konfigurasi tulangan, $f_c'=34$ MPa



Gambar 10. Kurva pengaruh kuat tekan beton terhadap nilai K.

Mobilisasi tulangan lateral untuk dapat mengekang inti beton akan berkurang efektifitasnya karena ekspansi lateral yang ditimbulkan oleh beton yang kuat tekannya lebih tinggi tidaklah sebesar ekspansi lateral untuk beton yang lebih rendah kuat tekannya.

Penurunan kekuatan setelah respon puncak memiliki perilaku yang hampir sama untuk kolom beton mutu rendah sampai beton mutu tinggi pada spesimen yang dipasang tulangan konfigurasi A (gambar 3). Dilain pihak untuk kolom beton dengan kuat tekan 34 MPa memiliki daktilitas beton terkekang yang lebih baik dibandingkan kolom beton dengan kuat tekan lainnya untuk spesimen yang dipasang tulangan lateral konfigurasi B (gambar 4). Fenomena yang menarik terlihat pada daktilitas beton terkekang yang sangat baik untuk spesimen beton mutu tinggi ($f_c' = 67$ MPa) dengan konfigurasi tulangan C (gambar 5). Sedangkan gambar 6 (konfigurasi tulangan D) menunjukkan bahwa daktilitas beton terkekang menurun dengan meningkatnya kuat tekan beton yang digunakan.

4.2. Efek konfigurasi tulangan lateral

Konfigurasi tulangan D menunjukkan nilai K yang paling tinggi dibandingkan konfigurasi tulangan lainnya untuk spesimen beton mutu rendah ($f_c' = 34$ MPa). Hasil ini mempunyai kemiripan dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan terhadap kolom beton mutu rendah yang dilakukan oleh Sheikh & Uzumeri (1980).

Konfigurasi tulangan B dan D memperlihatkan nilai K dan daktilitas beton terkekang dibandingkan konfigurasi lainnya untuk spesimen dengan kuat tekan beton 45 MPa (gambar 8 dan 10). Spesimen dengan kuat tekan beton 67 MPa dengan konfigurasi tulangan C mempunyai kemampuan dalam meningkatkan kekuatan beton terkekang (K) dan daktilitas beton terkekang yang paling baik daripada spesimen yang dipasang konfigurasi lainnya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen kolom yang telah dibahas di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan kekuatan beton terkekang (K) cenderung menurun apabila parameter kuat tekan beton yang digunakan ditingkatkan.
2. Nilai Poisson material beton mempengaruhi besarnya peningkatan kekuatan beton terkekang (K).
3. Konfigurasi tulangan tipe B mempunyai daktilitas yang paling baik apabila diaplikasikan pada kolom beton mutu rendah ($f_c' = 34$ MPa).
4. Konfigurasi tulangan lateral C mempunyai kinerja yang paling baik dalam meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang dibandingkan konfigurasi tulangan lainnya untuk aplikasi kolom beton mutu tinggi ($f_c' = 67$ MPa).

Daftar Pustaka

- Antonius dkk. (2004); "Pengaruh Kekangan Tulangan Lateral terhadap Perilaku Kekuatan dan Deformasi pada Struktur Kolom Beton Penampang Persegi"; Lap. Penelitian Hibah Bersaing XII/1 Perguruan Tinggi, Kontrak No.047/P4T/DPPM/PHB XII/III/2004.
- Imran, I., M. Moestopo and Suharwanto (1999); "Strength and deformation of confined high strength concrete"; 1st Int. Conf. On Advances in Struct. Eng. And Mechanics, Seoul, Korea, August 23-25 1999, 373-378.
- Moehle, J.P. and T. Cavanagh (1985); "Confinement Effectiveness of Crossties in RC"; J. of Struct. Eng. ASCE, V.111, No.10, October 1985, 2105-2120.
- Saatcioglu, M. and S.R. Razvi (1998); "High Strength Concrete Columns with Square Sections under Concentric Compression"; J. of Struct. Eng., ASCE, V124, No.12, December 1998, 1438-1447.
- Sheikh, S.A. and S.M. Uzumeri (1980); "Strength and ductility of tied concrete columns"; J. of Struct. Division, ASCE, V.106, No.ST5, May 1980, 1079-1101.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai melalui Dana Hibah Bersaing XII/1 Perg. Tinggi Tahun Anggaran 2004, Kontrak No.047/P4T/DPPM/PHB XII/III/2004. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan, Ditjend. Pendidikan Tinggi, Depdiknas.