

# PENGEMBANGAN SISTEM ELEMEN PENGIKAT UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIFITAS KEKANGAN KOLOM BANGUNAN TAHAN GEMPA

**Kristianto, A.<sup>1</sup>, Imran, I.<sup>2</sup>, Suarjana, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha  
Jalan Prof. drg. Soeria Sumantri, MPH, No. 65, Bandung, 40164  
e-mail: anang.kristianto@gmail.com

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesa 10, Bandung, 40132

## ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah rawan gempa, belajar dari kerusakan bangunan yang ditimbulkan oleh kejadian beberapa gempa terakhir dibutuhkan suatu struktur yang benar-benar memenuhi persyaratan sebagai bangunan tahan gempa, baik pada saat perencanaan maupun implementasinya di lapangan. Kolom beton bertulang yang dibangun di daerah resiko gempa tinggi diharapkan mampu untuk bertahan dalam siklus deformasi inelastik dengan tetap memiliki kekuatan dan stabilitas struktur yang memadai. Hal ini dapat terjadi dengan memberikan tulangan pengekang yang tepat pada inti beton elemen struktur kolom. Salah satu persyaratan penting untuk konstruksi tahan gempa yang terkait dengan pendetailan tulangan adalah pemasangan tulangan pengekang dengan kait gempa 135<sup>0</sup> pada elemen kolom beton bertulang. Pemasangan tulangan pengekang dengan kait 135<sup>0</sup> tersebut tidaklah mudah. Untuk memudahkan pembuatan dan pemasangannya, banyak pelaksana konstruksi yang pada akhirnya menggunakan tulangan pengekang dengan kait 90<sup>0</sup>. Berdasarkan beberapa hasil penelitian dan beberapa catatan dari kejadian gempa di Indonesia akhir-akhir ini, pemasangan tulangan pengekang dengan kait 90<sup>0</sup> untuk kolom beton bertulang pada daerah rawan gempa dapat menghasilkan kinerja yang buruk dan berbahaya bagi sistem struktur bangunan secara keseluruhan. Tulisan ini mencoba untuk melakukan pengembangan suatu elemen tambahan yang diharapkan dapat meningkatkan efektivitas kekangan pada kolom dengan kait 90<sup>0</sup>. Elemen tambahan ini dapat ditambahkan dengan mudah dilapangan pada kolom dengan tulangan konvensional yang memiliki kait 90<sup>0</sup>. Penelitian dilakukan melalui serangkaian model finite elemen tulangan pengekang dengan menggunakan software ADINA. Efektivitas penambahan elemen pengikat untuk meningkatkan kinerja pada tulangan konvensional sengkang tertutup 90<sup>0</sup> serta kait silang akan dianalisis. Penambahan elemen pengikat (pen-binder) cukup efektif untuk meningkatkan kinerja kolom beton bertulang dengan sengkang tertutup 90<sup>0</sup>.

**Kata kunci:** Kekangan, sengkang pengikat, elemen hingga, efektivitas

## ABSTRACT

Indonesia is an earthquake-prone region, learn from the damage of the last earthquake required a structure that truly meet the requirements of earthquake resistant buildings, both at the time of design and implementation in the field. Reinforced concrete columns built in seismically active regions are expected to undergo a large number of inelastic deformation cycles while maintaining overall strength and stability of structure. This can be ensured by proper confinement of the core concrete. One of the important requirements for earthquake resistant building associated with the installation of 135-degree hook-ties in reinforced concrete column elements. Installation of 135-degree hook-ties is not easy, many construction executive used 90-degree hook-ties because of the ease of their placement compared with the 135-degree hook. Based on some research and some

records of earthquakes in Indonesia recently, installation of the 90-degree hook-ties for reinforced concrete columns in earthquake-prone areas can result in poor performance and dangerous for the building system structures. This study tried to develop an additional element that is expected to improve the effectiveness of concrete columns confined with 90-degree hook-ties. Additional element that can be attached on to the conventional 90-degree hook-ties or crossties at the sites. Research conducted through a series of modeling studies with a finite element method using ADINA software. The effectiveness of this additional element in improving the performance of conventional 90-degree hook-ties and crossties in columns was investigated. The pen-binder were found to be effective in improving the performance of concrete column confined with 90-degree hook-ties.

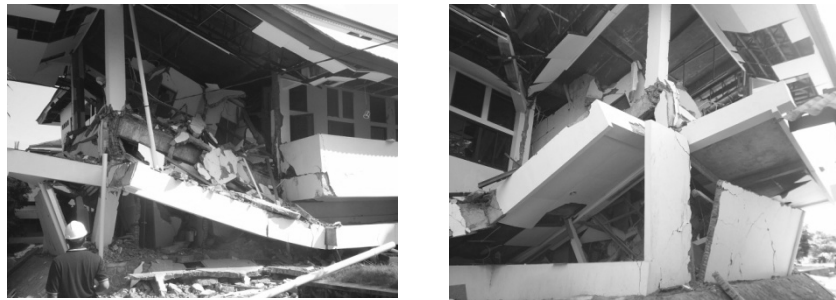
**Key words** : confinement, hook-ties, finite elements, effectiveness

## 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 (Imran et.al 2006,.Imran et.al.2007). 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.

Namun dalam pelaksanaannya, untuk memenuhi kaidah tersebut tidaklah mudah. Salah satu masalah yang dapat teridentifikasi adalah yang terkait dengan pendetailan tulangan pada struktur bangunan beton bertulang tahan gempa khususnya tulangan pengekanan kolom. Pembuatan dan pemasangan tulangan pengekanan yang benar merupakan suatu keharusan karena hal ini memberikan peranan yang besar agar kolom dapat berperilaku daktail dan memenuhi konsep desain kapasitas. Peraturan perencanaan SNI 03-2847-02 mensyaratkan diberikannya tulangan pengekanan dengan kait gempa  $135^0$  pada elemen kolom yang dibangun pada daerah rawan gempa. Dalam prakteknya pembuatan dan pemasangan tulangan pengekanan ini tidaklah mudah, apalagi untuk kolom-kolom berdimensi besar yang umum dipakai pada pada bangunan gedung tinggi seperti apartemen, jembatan dan jalan layang. Untuk memudahkan pembuatan dan pemasangannya, banyak pelaksana konstruksi yang pada akhirnya menggunakan tulangan pengekanan yang dipasang dengan kait  $90^0$ . Menurut Imran et.al (2006) terkait dengan kerusakan struktur akibat gempa bumi di Indonesia memperlihatkan contoh-contoh keruntuhan bangunan yang terjadi akibat pendetailan tulangan kolom yang tidak memenuhi persyaratan (Gambar 1), hasil penelitian juga membuktikan bahwa pemasangan tulangan pengekanan dengan kait  $90^0$  untuk kolom pada daerah rawan gempa dapat menghasilkan kinerja yang buruk dan berbahaya bagi sistem struktur secara keseluruhan.

Oleh karena itu pemasangan tulangan pengekuat dengan kait  $90^\circ$  untuk elemen struktur kolom beton bertulang pada dasarnya tidaklah direkomendasikan. Namun, walaupun demikian sistem ini ternyata banyak diaplikasikan di lapangan mengingat kemudahan dalam pemasangannya. Hal ini memotivasi penelitian untuk mengembangkan suatu perangkat tambahan yang dapat memperbaiki kinerja tulangan pengekuat yang dipasang dengan kait gempa  $90^\circ$  sedemikian sehingga sekalipun digunakan pengekuat dengan kait gempa  $90^\circ$ , struktur kolom yang dihasilkan akan berperilaku duktail dan liat (*tough*), yaitu tidak gampang runtuh.

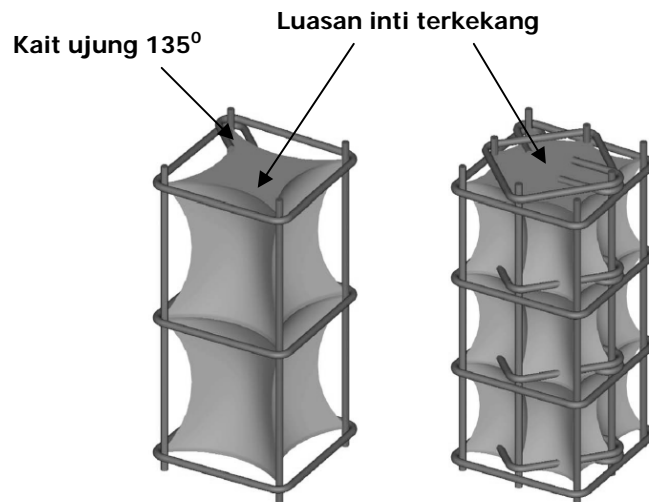


**Gambar 1. Contoh Keruntuhan Bangunan akibat Gempa Yogyakarta yang Dipicu oleh Detailing Penulangan Kolom yang Tidak Tepat.(Imran I., 2006)**

## 2. TINJAUAN LITERATUR

Tulangan pengekuat pada struktur kolom memiliki fungsi penting yaitu : mencegah menekuknya tulangan longitudinal, mencegah terjadinya keruntuhan geser dan mengikat inti beton sehingga elemen struktur kolom memiliki kemampuan untuk berperilaku duktail pada saat mengalami beban gempa ( Paultre P et.al., 2008)

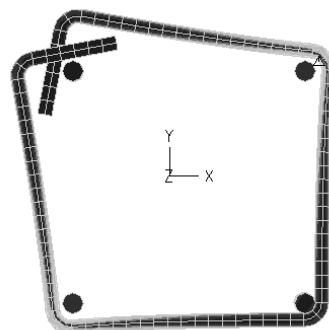
Konsep pemasangan tulangan pengekuat pada elemen struktur kolom beton bertulang dimaksudkan agar pada saat selimut kolom terkelupas dan akibatnya luas penampang kolom menjadi berkurang, maka tulangan pengekuat diharapkan dapat mengikat inti beton sehingga kolom yang selimutnya telah terkelupas tersebut memiliki kekuatan paling tidak sama dengan kekuatan pada saat selimut kolom belum terkelupas. Akibat kekangan tulangan maka terdapat suatu area yang disebut luasan inti terkekang pada daerah sepanjang kolom. Luasan inti terkekang ini akan dipengaruhi salah satunya oleh konfigurasi tulangan pengekuatnya ( Gambar 2 )



**Gambar 2. Luasan inti terkekang pada suatu elemen struktur kolom beton bertulang.(Paultre et.al.,2008)**

Agar dapat berfungsi dengan baik maka tulangan pengekuat ini harus diikat dalam bentuk kait yang mengait pada tulangan longitudinal. Peraturan mensyaratkan untuk daerah rawan gempa tulangan pengekuat harus dipasang dengan kait yang ujungnya ditekuk hingga  $135^{\circ}$  seperti terlihat pada gambar diatas. Kait ujung yang ditekuk memiliki panjang sedemikian rupa sampai masuk pada daerah inti terkekang sehingga dapat memberikan tahanan yang baik dan kekangan berfungsi dengan efektif.

Tulangan pengekuat dengan kait  $90^{\circ}$  memiliki kemampuan yang lebih rendah dalam menahan inti beton, hal ini terjadi karena tidak ada gaya yang menahan kait tersebut untuk tetap pada posisinya pada saat beban gempa terjadi. Kondisi ini akan mengakibatkan kait membengkok keluar dan tidak efektif lagi mengekuat inti beton ( Gambar 3 )



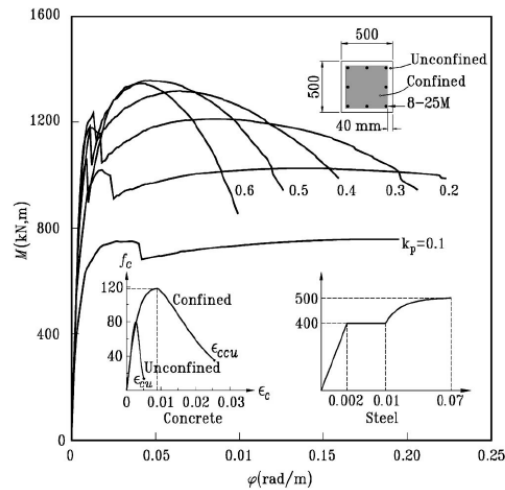
**Gambar 3. Kegagalan Kait  $90^{\circ}$  dalam menahan inti beton akibat beban aksial ( Output ADINA )**

## Prinsip penting dalam berbagai penelitian beton terkekang.

Beberapa prinsip penting yang didapat dalam penelitian beton terkekang :

### 1. Pengaruh Beban Aksial

Semakin tinggi beban aksial akan menurunkan tingkat daktilitas secara signifikan Sheikh dan Yeh 1990, Paultre dan Legeron, 2008 , level beban aksial biasanya diukur dari perbandingan  $P/f_c \cdot A_g$  dan  $P/P_o$ . ( Gambar 4 )



Gambar 4. Pengaruh Beban Aksial terhadap daktilitas (Paultre et al., 2008)

### 2. Konfigurasi Tulangan

Efektifitas kekangan dari tulangan pengekan tergantung dari luas area efektif dari beton yang terkekang dan distribusi tegangan kekangannya, dimana hal ini dipengaruhi oleh distribusi tulangan longitudinal dan lateralnya (Sheikh et al., 1990). Semakin banyak jumlah tulangan longitudinal yang dikekang oleh sengkang, area beton yang terkekang akan meningkat.

### 3. Batasan Kondisi untuk Konfigurasi Tulangan.

Sheikh dan Houry ( 1997 ) menyarankan bahwa untuk desain beban gempa kolom harus didesain dan didetail dengan level daktilitas tinggi atau moderat. Berdasarkan beberapa eksperimen didapatkan bahwa konfigurasi kategori I tidak dapat digunakan untuk kolom dengan daktilitas tinggi. Pada kolom dengan konfigurasi kategori II, pengujian pada kolom F ( Sheikh & Yeh., 1990; Sheikh & Houry., 1993 ; Sheikh et al., 1994 ) dengan beban aksial yang tinggi menunjukkan adanya kecenderungan terbukanya sengkang kait  $90^\circ$  pada deformasi yang besar, dan mengakibatkan kolom kehilangan kekangan. Wehbe, Saiidi dan Sanders ( 1999 ), dalam pengujiannya terhadap kolom jembatan

berbentuk segiempat yang didesain dalam level moderat menginformasikan bahwa pengegang dengan kait  $90^{\circ}$  pada daerah sendi plastis sudah terbuka dan kondisi ini diikuti dengan menekuknya tulangan longitudinal akibat kehilangan kekuatan kekangan. Sementara pengegang dengan kait  $135^{\circ}$  dalam kondisi mulai akan terbuka diikuti mulai menekuknya tulangan longitudinal pada akhir pengujian.

Lukkunaprasit dan Sittipunt 2003, menambahkan semacam hook-clips pada sambungan antara sengkang kait  $90^{\circ}$  untuk menahan agar kait tidak terbuka. Hook-clips ini dilaporkan efektif mengegang kolom dengan sengkang kait  $90^{\circ}$  yang didesain untuk level gempa moderat serta meningkatkan faktor daktilitas dan energi disipasinya.

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk level kegempaan yang lebih tinggi bila menggunakan tulangan pengegang dengan kait  $90^{\circ}$  yang diberikan elemen pengikat, mengingat tulangan pengegang yang diberi kait dengan sudut ini lebih praktis dalam pelaksanaannya secara khusus sangat berguna bila diimplementasikan pada kolom jembatan atau bangunan tinggi yang rata-rata berdimensi besar.

### **Tinjauan Mengenai Pengekangan Kolom Beton Bertulang pada Peraturan .**

Bila suatu penampang beton bertulang mendekati kekuatan penuhnya sebelum baja leleh, maka penampang tersebut juga mengalami peningkatan deformasi arah aksial maupun lateral sebelum penampang mengalami kehancuran. Untuk memperlambat kehancuran penampang beton maka digunakan tulangan pengegang. Tulangan pengegang dipasang dengan maksud agar pada saat terjadi *spalling* pada pelindung beton, kolom tidak akan kehilangan kekuatan aksialnya.

Kekuatan kolom sebelum selimut terkelupas :

$$P_0 = 0.85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (1)$$

Kekuatan kolom setelah selimut terkelupas :

$$P_1 = 0.85 \cdot f_1 \cdot (A_c - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (2)$$

Dimana  $A_g$  = luas penampang total,  $A_{st}$  = luas total tulangan longitudinal,  $A_c$  = luas penampang setelah selimut terkelupas,  $f_1$  = kuat tekan setelah kekangan bekerja,  $f_y$  = mutu tulangan *longitudinal*. Sesuai dengan konsep bahwa diharapkan kekuatan kolom minimum sama sebelum dan sesudah selimut lepas maka  $P_0 = P_1$ . Bila luas tulangan baja  $A_{st}$  diabaikan karena terlalu kecil dibandingkan dengan luas penampang kolom maka :

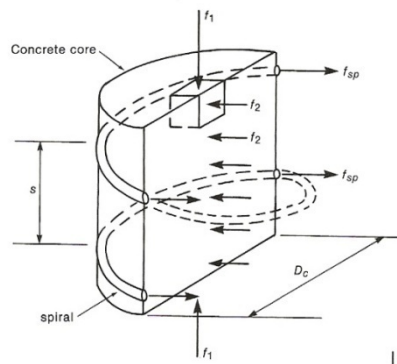
$$f_1 = \frac{A_{st} f_y}{A_c} \quad (3)$$

Berdasarkan penelitian ( Richart et.al., 1928 ) dengan adanya kekangan maka kekuatan tekan inti beton pada kolom akan menjadi sebesar :

$$f_1 = f_c' + 4.1.f_2 \quad (4)$$

Rasio volumetrik tulangan kekang didefinisikan sebagai perbandingan volume tulangan kekang terhadap volume inti beton, untuk tulangan spiral maka :

$$\rho_s = \frac{A_{sp} s}{A_c l_c} = \frac{A_{sp} \pi D_c}{\frac{\pi D_c^2}{4} s} = \frac{4 A_{sp}}{s D_c} \quad (5)$$



**Gambar 5. Gaya Pada Beton Terkekang (MacGregor,2005)**

Tegangan kekangan ( $f_2$ ) dihitung dengan asumsi bahwa tulangan kekang telah mencapai tegangan lelehnya ( $f_y$ ) pada saat kolom mengalami kegagalan. Sesuai dengan keseimbangan freebody (Gambar 5) untuk mendapatkan besarnya tegangan kekang lateral pada inti beton yang dihasilkan oleh pengekangan tulangan, maka jumlah aljabar gaya-gaya tersebut menjadi :

$$f_2 \cdot s \cdot h_u = 2 \cdot A_{sp} \cdot f_y h \quad (6)$$

$$f_2 = \frac{2 A_{sp} f_y}{s} = \frac{f_{sp} \rho_s}{2} \quad (7)$$

Sehingga dengan mensubstitusi persamaan diatas maka SNI 03-2847-2002 (pasal 23.4) menetapkan rasio volumetrik minimum tulangan transversal untuk kolom lingkaran sebesar :

$$\rho_s = 0.45 \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yh}} \quad \text{atau} \quad (8)$$

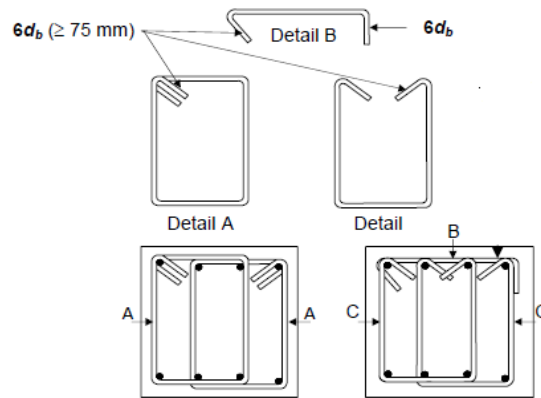
$$\rho_s = 0.12 \cdot \frac{f_c'}{f_{yh}} \quad (9)$$

Untuk kekangan pada kolom persegi maka sesuai dengan konsep diatas maka persamaan menjadi :

$$A_{sh} = 0.3 \cdot s \cdot h_c \cdot \left[ \frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \cdot \frac{f_c'}{f_{yh}} \quad (10)$$

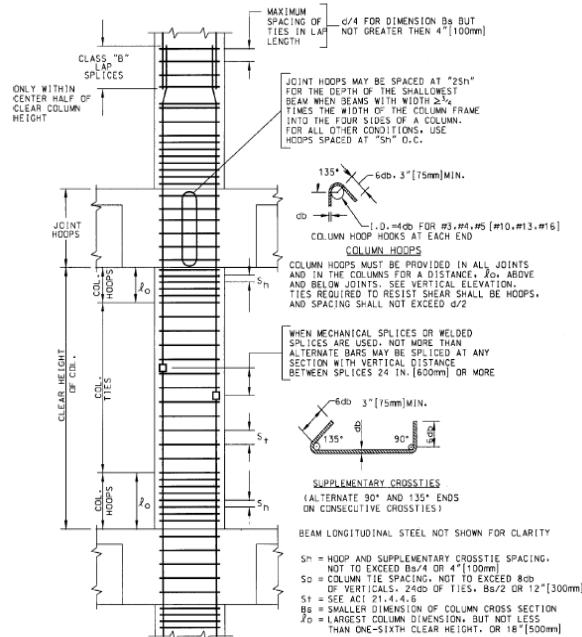
$$A_{sh} = 0.09 \cdot s \cdot h_v \cdot \frac{f_c'}{f_{yh}} \quad (11)$$

Selain persyaratan rasio volumetrik tulangan, peraturan juga memberikan persyaratan kekangan untuk desain elemen kolom pada daerah dengan tingkat kerawanan bahaya gempa yang tinggi. SNI 03-2847-2002 mendefinisikan “ sengkang kait gempa” ( seismic hook , Gambar 6) sebagai kait pada sengkang terbuka ( Detail-C ) , tertutup ( Detail-A ) atau pada pengikat silang ( Detail-B ) yang ujungnya ditekuk dengan sudut tidak kurang dari 135<sup>0</sup>.



**Gambar 6. Detail Sengkang Kait Gempa ( SNI 03-2847-2002)**

Detailing diperlukan pada daerah-daerah yang diharapkan terbentuk sendi plastis untuk mendisipasi energi gempa yang masuk dalam struktur. ( Gambar 7)

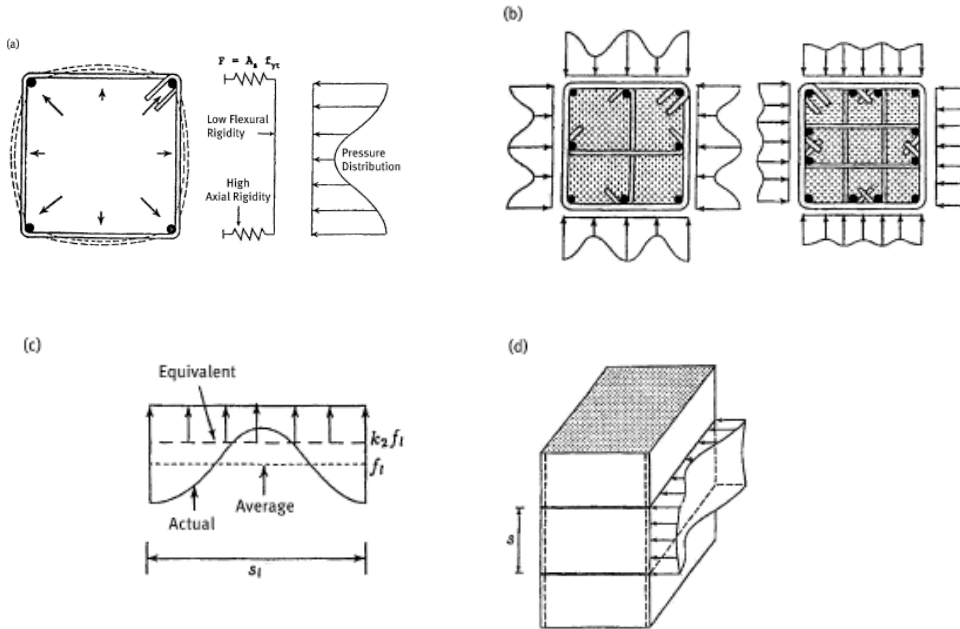


**Gambar 7. Detailing kekangan pada kolom untuk daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi (ACI 318M-05)**



### 3. STUDI PEMODELAN TULANGAN PENGEKANG PADA KOLOM

Studi pemodelan tulangan pengegang untuk kolom persegi dilakukan berdasarkan model kekangan yang dikembangkan oleh Saatcioglu M dan Razvi S.R (2002). Seperti terlihat pada gambar 8.



**Gambar 8. Tegangan Kekangan pada kolom persegi : adan b. kolom persegi dengan berbagai konfigurasi, c. Tegangan aktual, rata-rata dan ekuivalen, d.distribusi tegangan sepanjang tinggi kolom.( Saatcioglu M. and Razvi S.R.,2002)**

Persamaan berikut mendefinisikan peningkatan kekuatan pada beton terkekang secara analitis sesuai dengan model diatas

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 \cdot k_2 \cdot f_i \quad (12)$$

$$f_i = \frac{\sum A_s f_y h}{s \cdot b_c} \quad (13)$$

$$k_1 = 6.7(k_2 \cdot f_i)^{-0.17} \quad (14)$$

$$k_2 = 0.26 \cdot \sqrt{\frac{b_s}{s} \cdot \frac{b_c}{s_1} \cdot \frac{1}{f_i}} \quad (15)$$

Dimana :

$f'_{cc}$  = Kuat tekan beton terkekang ( Mpa)

$f'_{co}$  = Kuat tekan beton =  $0.85f_c'$

$f_i$  = Tegangan yang bekerja pada pengegang lateral ( Mpa )

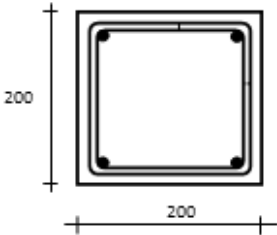
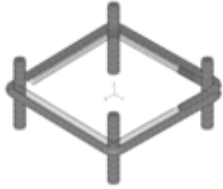
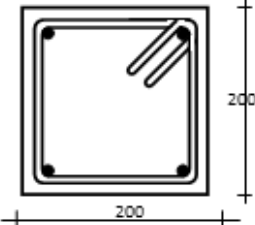

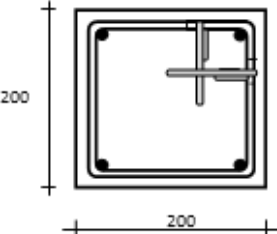
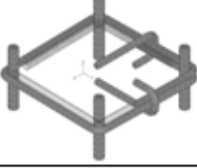


$k_1$  = koefisien yang menyatakan hubungan antara tegangan pengegang dan peningkatan kekuatan.

$k_2$  = koefisien yang menyatakan efisiensi tulangan pengegang.

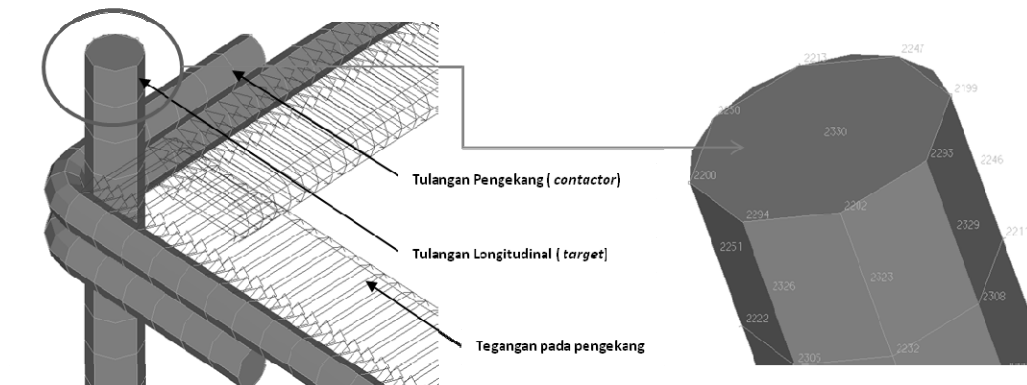
Untuk menganalisis perilaku pengekan dibuat 5 macam model kolom persegi dengan karakteristik sebagai berikut. Tabel 1. Model kolom dengan dimensi 200mmx200 mm, mutu beton digunakan  $f_c'=25\text{Mpa}$ , tulangan longitudinal dan pengekan digunakan diameter 13mm dan 10mm dengan mutu tulangan 400MPa

Sesuai dengan persamaan (12) sampai (15) berdasarkan data pada model kolom diatas didapatkan distribusi tegangan yang bekerja pada kekangan  $f_l=1.545\text{ MPa}$ , distribusi ekuivalen  $f_{ekivalen}=k_2.f_l=(0.21).(1.545\text{ MPa})=0.324\text{ MPa}$ . Selanjutnya distribusi tegangan dibuat menjadi beban merata yang bekerja pada tulangan pengekan sesuai dengan gambar pada Tabel 1.

**Tabel 1. Model Benda Uji**

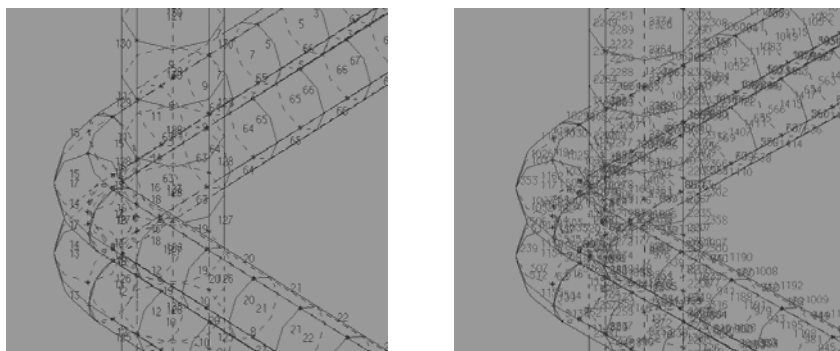
	<b>Type</b>	<b>Model Benda Uji</b>	<b>Finite Elemen Model</b>
A	90-degree hook-ties		
B	135-degree hook-ties		
C	90-degree hook-ties + pen-binder type-1		
D	90-degree hook-ties + pen-binder type-2		
E	90-degree hook-ties + pen-binder type-3		

Pemodelan dan analisis menggunakan software ADINA, salah satu keistimewaan software ini adalah kemampuan untuk menganalisis tegangan kontak antara beberapa elemen struktur dengan karakteristik material yang berbeda. Software ini juga memiliki kemampuan untuk membuat berbagai bentuk model 3 dimensi dengan baik dan cepat serta menghasilkan *output* yang cukup detail.



**Gambar 9. Detail model ( Input ADINA )**

Model A merupakan kolom dengan kait gempu  $90^\circ$ , model B merupakan kolom dengan kait gempu  $135^\circ$ , sedangkan model C,D dan E merupakan kolom dengan kait gempu  $90^\circ$  yang diberikan elemen pengikat (pen-binder) pada bagian tengah, seperempat jarak tulangan longitudinal, dan pada sudut yang terdapat kait  $90^\circ$ . Pemodelan dilakukan dengan menggunakan 3D solid elemen dengan 27 node untuk setiap mesh elemen (Gambar 9 dan 10) dan ukuran mesh yang optimum dibuat untuk mendapatkan data tegangan yang akurat.




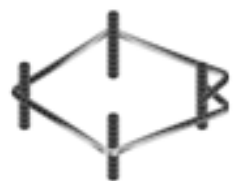
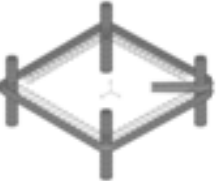

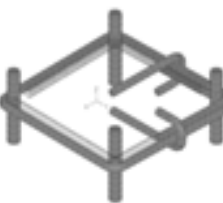





**Gambar 10. Penomoran elemen dan nodal**

Tulangan longitudinal pada kedua ujungnya dimodelkan sebagai sendi yang tidak dapat bergerak pada arah horisontal, pada ujung bawah dimodelkan tidak dapat bergerak

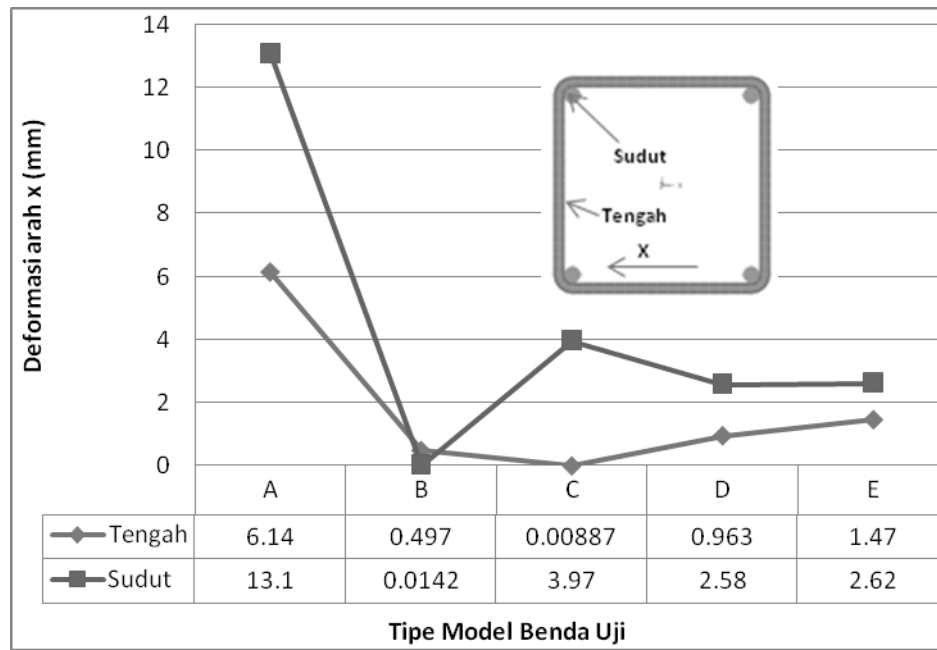
kebawah. Tulangan pengekang dimodelkan sebagai rol yang dapat bergerak pada arah horisontal tetapi tetap pada arah vertikal untuk mendapatkan perilaku deformasi yang terjadi. Pada pertemuan tulangan longitudinal dan tulangan pengekang serta pertemuan tulangan elemen pengikat dan tulangan pengekang dilakukan analisis kontak untuk mendapatkan perilaku pertemuan antara kedua elemen tersebut.

Hasil analisis komputer untuk ketiga pemodelan diatas menghasilkan perilaku deformasi tulangan pengekang seperti terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Deformasi model benda uji.**

		<i>Finite Elemen Model</i>	<i>Deformation</i>
A	<i>90-degree hook-ties</i>		
B	<i>135-degree hook-ties</i>		
C	<i>90-degree hook-ties + pen-binder type-1</i>		
D	<i>90-degree hook-ties + pen-binder type-2</i>		
E	<i>90-degree hook-ties + pen-binder type-3</i>		

Pada tabel 2 terlihat bahwa tulangan pengegang dengan kait 90 tanpa penambahan elemen pengikat mengalami deformasi yang cukup besar sehingga tidak efektif mengekang inti beton pada kolom, sementara tulangan pengegang dengan kait 135 derajat memberikan kekangan yang baik.



**Gambar 11. Grafik deformasi tulangan pengegang**

Gambar 11 memperlihatkan deformasi pada bagian sudut yang terdapat kait 90 dan 135 serta pada bagian tengah diantara dua tulangan longitudinal. Grafik diatas menunjukkan deformasi yang cukup besar terjadi pada model A, sementara model dengan tambahan elemen pengikat (C,D dan E ) memperlihatkan deformasi yang relatif lebih kecil yaitu sebesar berturut-turut 30.3%, 19.7% dan 20% dari deformasi model A meskipun belum dapat menyamai model B.

Hasil analisis diatas menunjukkan suatu perbedaan efektivitas pengekangan yang cukup besar antara tulangan pengegang dengan kait 90° dan 135°. Perilaku ini memperkuat pembuktian bahwa kekangan dengan kait 90° tidak cukup efektif untuk memberikan kekangan pada inti beton pada saat kolom mengalami beban gempa. Pemberian elemen pengikat tambahan memberikan hasil yang cukup signifikan dalam memberikan kekangan pada inti beton, hal ini dapat dilihat dari perilaku deformasi ujung kekangan pada model C,D dan E yang relatif jauh lebih kecil daripada model A. Untuk melihat efektivitas kekangan dengan adanya tambahan elemen pengikat perlu dilakukan analisis yang lebih mendalam, komprehensif serta pengujian laboratorium menggunakan benda uji kolom dengan berbagai parameter yang divariasikan.

#### 4. KESIMPULAN

Beberapa hal penting yang dapat disimpulkan dari penelitian pada kasus kolom diatas adalah :

1. Penggunaan tulangan sengkang dengan kait 90° tidak memberikan kekangan yang cukup efektif pada kolom yang dibangun pada daerah rawan gempa
2. Agar dapat berperilaku daktail pada saat mengalami beban gempa diperlukan tulangan pengekan dengan kait 135° karena terbukti efektif mengekan beton pada struktur kolom.
3. Penambahan elemen pengikat pada kekangan dengan kait 90° sedemikian rupa yang tertanam pada daerah inti beton memberikan kekangan yang relatif lebih baik serta cukup signifikan meskipun belum dapat menyamai kolom dengan kait 135°.

#### 5. SARAN

Penelitian mengenai efektivitas pengekan dengan penambahan elemen pengikat ini masih memerlukan studi lanjut dalam analisis numerik elemen hingga maupun pengujian di laboratorium.

Perlunya alternatif bentuk elemen pengikat lainnya sehingga didapatkan bentuk elemen pengikat yang sederhana dan mudah pelaksanaannya.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Chen W.F , Lan Y.M., 2006, *Finite Elemen Studi of Confined Concrete*, ACI-Special Publication ( SP-238-14).
2. Djauhari Z. , I. Imran., 2008, *Study of Confinement Models for High Strength Concrete Confined by High Strength Steel*, Proceeding International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation ( ICEEDM '08 ), Jakarta.
3. Hoedajanto, D., Imran I., 2002, *The Practice of Concrete Engineering in Indonesia*, Proceedings of Asian Concrete Forum Symposium, Seoul, Korea, pp.107-113
4. 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)
5. 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.
6. 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)

7. 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.
8. Richart, F. E., Brandtzaeg, A., and Brown, R. L.,1928. *A study of the failure of concrete under combined compressive stresses*. Engrg. Experiment Station Bull. No. 185, University of Illinois, Urbana, Ill.
9. Saatcioglu M. and Razvi S.R.,2002, *Displacement-Based Design of Reinforced Concrete Columns for Confinement*,ACI Structural Journal V.99. No1, January-Februari,2002,pp. 3-11.
10. Paultre P.; Legeron F., 2008, *Confinement Reinforcement Design for Reinforced Concrete Columns*, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol 134. No5 May 2008.
11. 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.
12. Sheikh, S. A., and Yeh, C., 1990, *Tied Concrete Columns under Axial Load and Flexure*, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 116, No. 10, Oct. 1990, pp. 2780-2800.
13. 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.
14. Widodo, 2007, *Kerusakan Bangunan Pada Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 Akibat Kebelumjelasan Code, Sosialisasi atau Pelaksanaan ?*, Prosiding Seminar HAKI 2007. Jakarta.