

# PENGARUH TULANGAN LATERAL TERHADAP MEKANISME COVER SPALLING PADA STRUKTUR KOLOM BETON MUTU TINGGI

Oleh:  
Antonius \*)

## Abstrak

*Proses terlepasnya selimut dari inti beton (cover spalling) yang terjadi pada kolom beton mutu tinggi terjadi secara prematur, dimana regangan aksial beton yang terjadi ternyata lebih rendah terhadap regangan aksial di saat respon puncak beton tanpa kekangan [Cusson & Paultre,1994; Foster et al,1998]. Di dalam paper ini, peristiwa cover spalling pada struktur kolom yang terbuat dari beton mutu tinggi akan dipelajari secara mendalam. Kajian dilakukan terhadap hasil pengujian kolom beton mutu tinggi yang telah dilakukan [Antonius,2001]. Besarnya regangan beton kolom pada saat awal cover spalling dievaluasi dan ditinjau terhadap ketentuan yang dianut dalam Standar Nasional Indonesia. Selain itu hubungan antara karakteristik tulangan lateral yang dipasang dengan kapasitas aksial kolom juga akan dibahas, untuk mengetahui pengaruh dari pemasangan tulangan lateral tersebut terhadap kapasitas kolom. Hasil studi ini diantaranya adalah bahwa tulangan lateral yang berfungsi sebagai tulangan pengekang pada struktur kolom beton mutu tinggi, memegang peranan yang signifikan dalam mekanisme terjadinya cover spalling secara prematur. Implikasi dari peristiwa tersebut membawa pengaruh terhadap berubahnya beberapa parameter pada model blok tegangan beton ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ) yang biasa digunakan untuk desain pada struktur kolom beton mutu normal.*

*Kata-kata kunci: cover spalling, beton mutu tinggi, tulangan lateral*

## 1. Pendahuluan

Pada dekade 90-an, di Indonesia telah mulai dilakukan penelitian secara intensif mengenai perilaku mekanis material beton mutu tinggi ( $f_c' > 50$  MPa). Beberapa sifat dari beton mutu tinggi diketahui memiliki sifat yang superior dibandingkan dengan beton mutu normal, diantaranya pada beton mutu tinggi mempunyai kekakuan dan ketegaran retak yang lebih tinggi serta sifat durabilitas yang lebih baik. Hal ini menjadikan beton mutu tinggi mempunyai prospek penggunaan yang sangat baik di masa mendatang. Berdasarkan perilaku mekanis yang dimilikinya, seperti kekuatan tekan yang lebih baik, beton mutu tinggi sangat cocok diaplikasikan pada struktur beton prategang maupun komponen struktur yang dominan menahan beban aksial seperti kolom.

Keuntungan yang diperoleh dengan digunakannya bahan struktur yang terbuat dari beton mutu tinggi ini diantaranya adalah dimungkinkannya penggunaan balok dengan ukuran bentang yang lebih panjang, atau selain itu dapat direduksinya dimensi kolom. Namun demikian, dalam SNI '92 yang sekarang telah direvisi ke dalam Rancangan Standar Nasional Indonesia 2002 (RSNI '02), persamaan desain yang digunakan masih berdasarkan hasil pengujian untuk beton mutu normal. Dengan demikian masih perlu diselidiki lebih lanjut aplikasi berdasarkan ketentuan perencanaan tersebut dalam penggunaannya pada komponen struktur yang terbuat dari beton mutu tinggi.

---

\*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)-Semarang

Berdasarkan hasil pengujian kolom yang terbuat dari beton mutu tinggi yang telah dilakukan terungkap bahwa proses terlepasnya selimut dari inti beton (*cover spalling*) terjadi secara prematur. Peristiwa ini ditandai pada waktu awal terjadinya *cover spalling*, yaitu lebih rendahnya regangan aksial beton terhadap regangan aksial di saat respon puncak beton tanpa kekangan (*unconfined*) pada beton mutu tinggi (Cusson & Paultre, 1994; Foster et al, 1998; Antonius, 2001; Bae & Bayrak, 2003). Hasil studi tersebut juga melaporkan bahwa regangan ultimit beton pada umumnya dibawah regangan ultimit yang dianut dalam RSNI '02 (0,003). Lebih rendahnya regangan ultimit ini membawa implikasi kepada berkurangnya kapasitas penampang beton bertulang, misalnya untuk struktur yang mengalami pembebanan lentur.

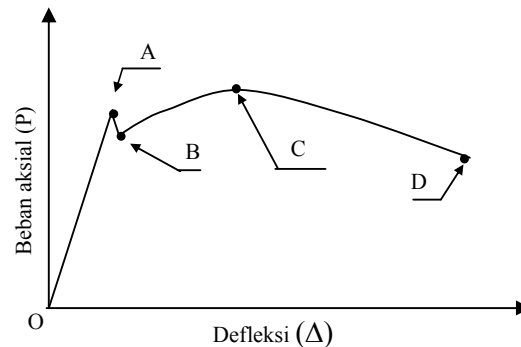
Di dalam paper ini, mekanisme terjadinya *cover spalling* secara eksperimental pada kolom beton mutu tinggi, serta implikasi desain yang timbul akan dikaji secara mendalam. Selain itu akan dilakukan pula studi perbandingan terhadap diagram blok tegangan yang telah dikembangkan untuk mengetahui sensitifitas dari masing-masing model terhadap hasil eksperimen.

## 2. Mekanisme Cover Spalling

Proses terjadinya *cover spalling* pada struktur kolom dapat digambarkan dengan diagram Beban aksial (P) dan Defleksi aksial ( $\Delta$ ) seperti terlihat pada gambar 1. Pada struktur kolom yang dikenai beban aksial secara monotonik, pengembangan lateral yang terjadi akan dihambat oleh tulangan lateral dengan tekanan secara pasif. Dalam waktu yang bersamaan selimut beton akan mengalami tegangan tarik. Seiring dengan terus meningkatnya beban aksial, bidang retak mulai terjadi antara selimut dan inti beton, dan mulai terjadi pemisahan yang ditunjukkan pada titik A. Permulaan retak tersebut akan mengakibatkan selimut mulai kehilangan kekuatannya, dan beban pada kolom akan mengalami penurunan sampai ke titik B yaitu saat selimut beton terlepas dari inti secara sempurna.

Pada kondisi OAB tersebut tulangan lateral yang dipasang belum bekerja secara efektif. Selanjutnya pada fase BCD tulangan lateral mulai bekerja efektif dengan memberikan aplikasi tegangan lateral sehingga kekuatan

kolom kembali meningkat. Besarnya peningkatan kekuatan kolom tersebut sangat tergantung dari karakteristik tulangan lateral yang dipasang.



Gambar 1. Kurva Beban aksial-Defleksi pada pengujian kolom

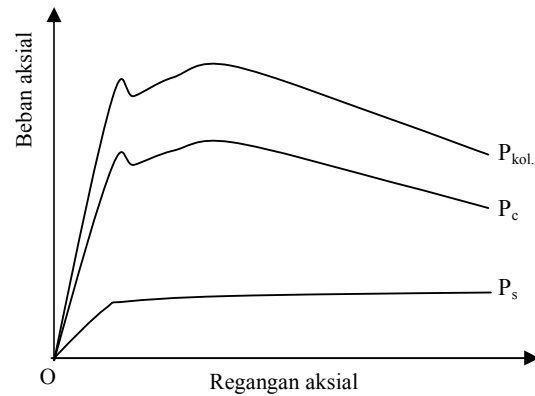
Cusson & Paultre (1994) mengungkapkan bahwa pada kolom beton mutu tinggi besarnya penurunan kekuatan kolom dari saat awal *cover spalling* (titik A) sampai ke titik B berkisar antara 10 hingga 15%, dan proses ini terjadi dalam waktu yang relatif singkat. Perilaku ini berbeda dengan perilaku untuk kolom beton mutu normal, dimana proses *cover spalling* berlangsung secara bertahap (Sheikh & Uzumeri, 1980). Hasil studi Saatcioglu & Razvi (1998) melaporkan bahwa untuk kolom dengan kuat tekan beton lebih tinggi dari 80 MPa, beban puncak yang kedua (titik C) pada gambar 1 adalah kurang lebih sama atau bahkan lebih rendah daripada beban puncak yang pertama (titik A). Oleh karenanya kalkulasi kapasitas lentur penampang harus berdasarkan kondisi respon puncak yang pertama. Bae & Bayrak (2003) melaporkan bahwa regangan ultimit beton pada saat awal *cover spalling* berkisar antara 0,0022 dan 0,0032. Nilai tersebut diperoleh dari pengujian kolom sebanyak 24 buah yang dipasang tulangan pengekan dengan rentang kuat tekan beton antara 56 dan 112 MPa. Bae & Bayrak menyimpulkan bahwa rendahnya regangan beton pada saat *cover spalling* tersebut disebabkan oleh kandungan tulangan lateral yang dipasang cukup tinggi, seperti lebih rapatnya spasi tulangan lateral. Rapatnya spasi tulangan lateral tersebut mengakibatkan antara selimut dan inti beton relatif mempunyai ikatan yang lebih lemah. Simpulan Bae & Bayrak tersebut adalah sama dengan hasil penelitian Foster et al. (1998).

### 3. Pengujian Kolom

Untuk mengetahui proses *cover spalling* pada kolom beton mutu tinggi, dilakukan kajian terhadap 26 buah kolom beton mutu tinggi yang mempunyai penampang bulat (Antonius, 2001). Kolom dikenai beban aksial konsentris yang berlangsung secara monotonik. Detail penulangan kolom dapat dilihat pada tabel 1. Hasil pengujian kolom tersebut kemudian dievaluasi dengan melakukan akuisisi data terhadap besarnya regangan beton di saat awal *cover spalling*, beban maksimum kolom ( $P_{kol.}$ ) dan beban puncak kolom beton ( $P_c$ ) pada waktu tulangan lateral sudah efektif bekerja (titik B gambar 1).

Beban yang dipikul oleh beton ( $P_c$ ) pada kolom diperoleh dari harga  $P_{kol.}$  dikurangi dengan

beban yang diterima oleh tulangan longitudinal ( $P_s$ ) seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Penentuan beban yang diterima oleh beton

Tabel 1. Penulangan kolom

Kolom	Diameter kolom (mm)	$f'_c$ (MPa)	Tulangan Lateral			Tulangan Longitudinal			
			Jenis	Teg. Leleh; $f_y$ (MPa)	Rasio; $\rho_s$ (%)	Teg. Leleh; $f_y$ (MPa)	Tulangan (mm)	Rasio; $\rho$ (%)	
KS1	110	51,8	Spiral	488	4,38	325	5 $\phi$ 9,3	3,6	
KH1			Hoop	466	4,38				
KS2		63,2	Spiral	488	4,38				
KS3				315	3,19				
KS4				315	2,03				
KS5		75,3	Spiral	488	4,38				
KS6				587	4,38				
KS7				587	2,79				
KH2				Hoop	466				4,38
KH3			567		4,38				
KH4			567		2,78				
KS8	250		51,2	Spiral	402	4.72	400	8 $\phi$ 12,1	1.87
KS9		365			3.01				
KH5		Hoop		400	4.72				
KH6				359	2.01				
KS10		64	Spiral	320	6.14	360	8 $\phi$ 12.1	1.87	
KS11				320	3.91				
KS12				400	4.76				
KS13				320	6.14		12 $\phi$ 12.1	2.81	
KH7				Hoop	320				6.14
KH8					320				3.91
KH9		305	4.76						
KH10	320	6.14	12 $\phi$ 12.1	2.81					
KS14	81,6	Spiral	390	6,52	400	8 $\phi$ 12.1	1.87		
KS15			380	4.11					
KH11			Hoop	388				4.11	

Hasil eksperimental tersebut kemudian dibandingkan dengan kapasitas kolom secara teoritis berdasarkan persamaan (1), (2) dan (3). Perhitungan teoritis tersebut yaitu kapasitas aksial kolom ( $P_o$ ), kapasitas aksial beton kolom berdasarkan luas total ( $P_{oc}$ ), dan kapasitas aksial beton kolom berdasarkan luas inti beton ( $P_{occ}$ ).

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_s) + f_y A_{st} \quad (1)$$

$$P_{oc} = 0,85 f_c' (A_g - A_s) \quad (2)$$

$$P_{occ} = 0,85 f_c' (A_{core} - A_s) \quad (3)$$

#### 4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

##### 4.1. Regangan beton

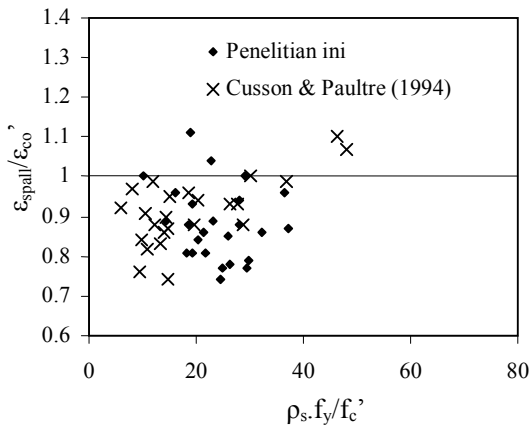
Tabel 2 memperlihatkan bahwa regangan beton saat terjadi awal *cover spalling* ( $\epsilon_{spall}$ ) berkisar antara 0,002 hingga 0,0031.

Dari keseluruhan spesimen, hanya spesimen KS7 yang mempunyai nilai regangan beton yang sama dengan ketentuan RSNI '02 (0,003), sedangkan spesimen KS13 mempunyai nilai regangan beton di atas ketentuan RSNI tersebut (0,0031). Selain kedua spesimen tersebut, semuanya mempunyai nilai regangan beton yang lebih rendah dari 0,003.

Tabel 2. Hasil pengujian kolom

Kolom	Beban Aksial						Regangan Aksial		
	$P_{kol}$ kN	$P_o$ kN	$\frac{P_{kol}}{P_o}$	$P_c$ kN	$P_{occ}$ kN	$\frac{P_c}{P_{occ}}$	$\epsilon_{cp}$	$\epsilon_{spall}$	$\frac{\epsilon_{spall}}{\epsilon'_{co}}$
KS1	555,70	513,9	1,08	445,37	227,6	1,96	0,0023	0,0020	0,87
KH1	559,93	513,9	1,09	449,60	227,6	1,98		0,0022	0,96
KS2	621,67	602,7	1,03	539,31	277,7	1,94		0,0026	0,0020
KS3	512,47	602,7	0,85	402,14	277,7	1,48	0,0025		0,96
KS4	438,80	602,7	0,73	355,70	277,7	1,31	0,0026		1,00
KS5	782,44	696,9	1,12	672,12	330,9	2,03	0,0027	0,0024	0,89
KS6	780,89	696,9	1,12	670,56	330,9	2,03		0,0020	0,74
KS7	698,60	696,9	1	588,27	330,9	1,78		0,0030	1,11
KH2	873,24	696,9	1,25	762,91	330,9	2,31		0,0028	1,04
KH3	878,68	696,9	1,26	768,35	330,9	2,32		0,0023	0,85
KH4	704,71	696,9	1,01	633,54	330,9	1,91		0,0022	0,81
KS8	2765,98	2462,22	1,12	2720,01	1193,88	2,28	0,0028	0,0022	0,79
KS9	2532,98	2462,22	1,03	2487,00	1193,88	2,08		0,0024	0,86
KH5	3170,71	2462,22	1,29	3124,73	1193,88	2,62		0,0024	0,86
KH6	2764,90	2462,22	1,12	2722,22	1193,88	2,28		0,0025	0,89
KS10	3246,02	2988,28	1,09	3151,98	1630,06	1,93	0,0031	-	-
KS11	3191,69	2988,28	1,07	2958,82	1630,06	1,82		0,0026	0,84
KS12	3765,78	2988,28	1,26	3432,58	1630,06	2,11		0,0024	0,77
KS13	3265,93	3092,05	1,06	2769,17	1605,03	1,73		0,0031	1,00
KH7	3551,99	3078,40	1,15	3220,82	1709,01	1,88	0,0032	0,0030	0,94
KH8	3056,75	3078,40	0,99	2725,58	1709,01	1,59		0,0028	0,88
KH9	3189,14	3078,40	1,04	2857,97	1709,01	1,67		0,0026	0,81
KH10	3799,71	3217,75	1,18	3302,95	1682,77	1,96		0,0028	0,88
KS14	3828,64	3708,86	1,03	3782,66	2071,84	1,83	0,0027	0,0021	0,78
KS15	3719,19	3708,86	1,00	3672,30	2071,84	1,77		0,0022	0,81
KH11	3141,78	3708,86	0,85	3095,80	2071,84	1,49		0,0025	0,93

Selanjutnya gambar 3 memperlihatkan hubungan antara kandungan tulangan lateral yang dipasang yang dinormalisasi terhadap kuat tekan beton ( $\rho_s \cdot f_y / f_c'$ ), dengan rasio antara regangan beton saat *cover spalling* terhadap regangan beton tanpa kekangan ( $\epsilon_{spall} / \epsilon_{co}$ ). Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai  $\epsilon_{spall} / \epsilon_{co}$  pada umumnya adalah di bawah 1. Hal ini berarti bahwa regangan beton di saat *cover spalling* terjadi lebih cepat dari pada regangan beton tanpa kekangan. Hasil ini juga kurang lebih sama dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh Cusson & Paultre (1994).



Gambar 3. Hubungan antara  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$  vs  $\epsilon_{spall} / \epsilon_{co}$

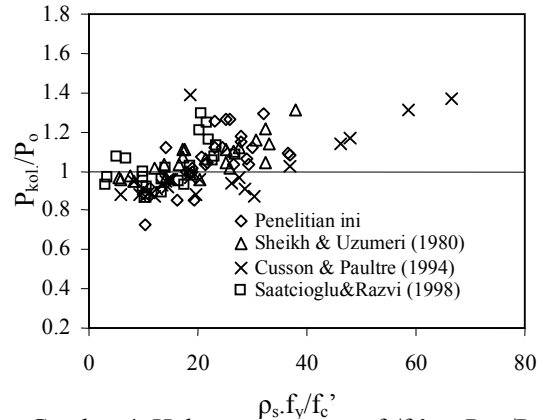
#### 4.2. Kapasitas kolom

Perbandingan antara kekuatan aksial kolom maksimum terhadap kapasitas aksial kolom teoritis ( $P_{kol} / P_o$ ) pada tabel 2 memperlihatkan bahwa pada umumnya perbandingan tersebut mempunyai nilai di atas 1. Hanya spesimen KS3, KS4, KH8 dan KH11 yang mempunyai nilai  $P_{kol} / P_o$  yang lebih rendah dari 1.

Perbandingan antara kekuatan aksial beton kolom terhadap kapasitas aksial beton kolom teoritis ( $P_c / P_{occ}$ ) juga menunjukkan nilai di atas 1, bahkan nilai-nilai  $P_c / P_{occ}$  ini cenderung lebih besar daripada nilai  $P_{kol} / P_o$  di atas. Hasil ini memberi arti bahwa tulangan lateral berfungsi secara efektif untuk meningkatkan kekuatan beton setelah terlepasnya selimut dari inti beton.

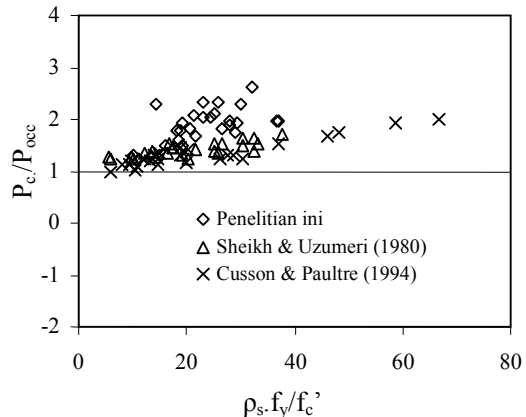
Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$  dengan  $P_{kol} / P_o$ . Hasil pengujian juga dibandingkan dengan data hasil pengujian untuk kolom beton mutu normal yang dilakukan oleh Sheikh & Uzumeri (1980) dan hasil pengujian kolom beton mutu tinggi lainnya oleh Cusson & Paultre (1994) dan

Saatcioglu & Razvi (1998). Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai  $P_{kol} / P_o$  untuk beton mutu tinggi berada diantara 0,73 dan 1,37. Sedangkan untuk kolom beton mutu normal nilai  $P_{kol} / P_o$  berada pada kisaran di atas 1. Nilai  $P_{kol} / P_o$  cenderung meningkat apabila nilai  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$  juga bertambah.



Gambar 4. Hubungan antara  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$  vs  $P_{kol} / P_o$

Hubungan antara  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$  dengan  $P_c / P_{occ}$  diperlihatkan pada gambar 5. Dari hasil penelitian ini maupun hasil pengujian kolom oleh Sheikh & Uzumeri dan Cusson & Paultre dapat dikatakan bahwa nilai  $P_c / P_{occ}$  mempunyai nilai di atas 1 (hanya satu spesimen dari 27 spesimen hasil pengujian Cusson & Paultre yang mempunyai nilai  $P_c / P_{occ}$  di bawah 1). Hasil ini mengindikasikan bahwa tulangan lateral memberikan aplikasi tegangan lateral secara efektif setelah selimut beton terlepas, dengan melakukan pengekangan terhadap inti beton hingga mencapai beban puncaknya. Selain itu dari gambar 5 tersebut juga terlihat bahwa meningkatnya nilai  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$  juga cenderung meningkatkan nilai  $P_c / P_{occ}$ .



Gambar 5. Hubungan antara  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$  vs  $P_c / P_{occ}$

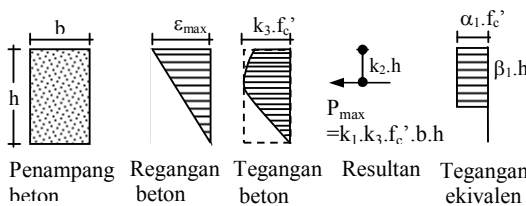
Oleh karena itu kandungan tulangan lateral mempunyai peranan yang signifikan untuk meningkatkan kapasitas beton di daerah penampang inti kolom beton.

### 5. Tinjauan terhadap Diagram Blok Tegangan Beton

Berdasarkan evaluasi terhadap perilaku kolom beton mutu tinggi yang diberi beban konsentris serta dibandingkan dengan hasil pengujian kolom dari peneliti lainnya di atas, dapat dikatakan bahwa regangan ultimit beton yang terjadi untuk beton mutu tinggi adalah lebih rendah dari yang digunakan dalam RSNI '02. Lebih rendahnya regangan ultimit beton tersebut mengakibatkan perlunya penyelidikan terhadap besarnya konstanta yang digunakan dalam diagram blok tegangan beton (gambar 6).

#### 5.1. Diagram blok tegangan beton

Berdasarkan gambar 6,  $k_1$  didefinisikan sebagai rasio antara tegangan tekan beton rata-rata terhadap tegangan maksimum, atau dalam gambar tegangan beton adalah perbandingan antara daerah yang diarsir terhadap daerah persegi. Parameter  $k_2$  adalah rasio jarak antara serat tekan ekstrim sampai resultan dari gaya tekan beton terhadap tinggi daerah tekan. Sedangkan  $k_3$  adalah rasio antara tegangan tekan maksimum pada zona tekan terhadap kekuatan silinder beton,  $f_c'$ .



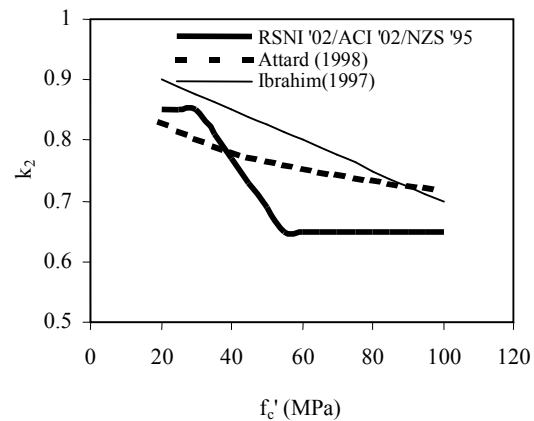
Gambar 6. Faktor blok tegangan pada beton

Selanjutnya tabel 3 menyajikan beberapa model diagram blok tegangan beton yang telah dikembangkan.

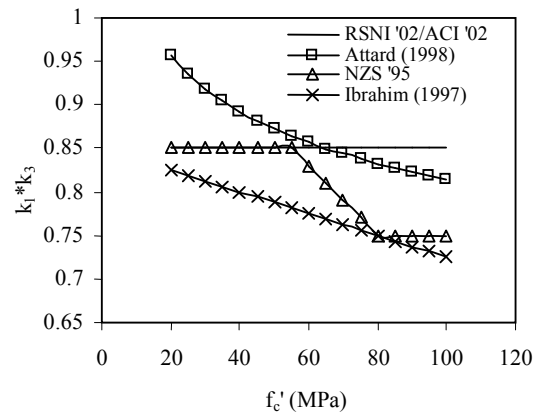
Gambar 7 dan 8 adalah kurva perbandingan model blok tegangan beton berdasarkan tabel 3. Perbedaan masing-masing model tersebut terutama adalah disebabkan perbedaan karakteristik material yang digunakan dalam eksperimen, dan asumsi yang diambil berbeda satu sama lain. Selain itu batasan kuat tekan beton yang digunakan tidak sama pula.

Tabel 3. Model-model blok tegangan beton (Steward & Attard, 1999).

Model	$k_1 k_3 (=α_1)$	$k_2 (=β_1)$
RSNI '02 /ACI '02	0,85	$1,09-0,008 f_c'$ $0,85 ≥ k_2 ≥ 0,65$
Attard & Steward (1998)	$1,29(f_c')^{-0,1}$ $≥ 0,71$	$1,095 (f_c')^{-0,091}$ $≥ 0,67$
NZS3101-1995	$1,07-0,004 f_c'$ $0,85 ≥ k_1 k_3 ≥ 0,75$	$1,09-0,008 f_c'$ $0,85 ≥ k_2 ≥ 0,65$
Ibrahim & MacGregor (1997)	$0,85-f_c'/800$ $≥ 0,725$	$0,95-f_c'/400$ $≥ 0,70$



Gambar 7. Perbandingan model parameter  $k_2$  untuk berbagai mutu beton



Gambar 8. Perbandingan model parameter  $k_1.k_3$  untuk berbagai mutu beton

Seperti terlihat pada gambar 7 di atas, nilai  $k_2$  yang digunakan dalam RSNI '02 berimpit dengan model yang dianut ACI '02 dan model dalam peraturan beton di Selandia Baru (NZS '95). Ketiga model tersebut memberi batasan

nilai  $k_2$  menjadi tiga bagian, yaitu untuk kuat tekan beton di bawah 30 MPa adalah konstan sebesar 0,85, untuk kuat tekan beton antara 35-55 MPa bervariasi antara 0,85-0,65, sedangkan untuk kuat tekan beton lebih besar dari 55 MPa adalah konstan sebesar 0,65. Model yang diusulkan oleh Ibrahim & MacGregor (1997) berada di atas model RSNI '02 di atas. Sedangkan nilai  $k_2$  model usulan oleh Attard & Steward (1998) bervariasi non-linier dari 0,85 dan terus menurun seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton.

Nilai  $\alpha_1$  pada gambar 8 yang dianut RSNI '02 adalah konstan sebesar 0,85 untuk berbagai mutu beton yang digunakan. Nilai  $\alpha_1$  berdasarkan Attard & Steward bervariasi non-linier dan mempunyai harga yang sama dengan nilai RSNI '02 sampai kuat tekan beton 65 MPa. Di atas kuat tekan beton 65 MPa tersebut nilai  $\alpha_1$  dari RSNI '02 terlihat paling tinggi bila dibandingkan dengan model lainnya.

### 5.2. Validasi model blok tegangan beton

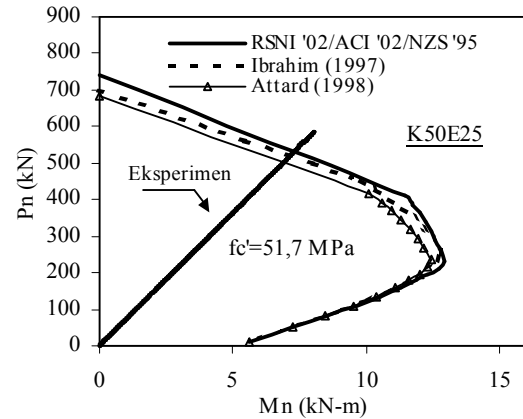
Validasi model dilakukan dengan studi perbandingan terhadap hasil eksperimen kolom dengan beban eksentris yang dilakukan oleh Antonius (2001). Spesimen yang diuji adalah kolom pendek (*short columns*) penampang persegi dengan ukuran 120x120 mm, yaitu sebanyak 4 buah. Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) yang dirancang adalah 50 dan 70 MPa. Detail penulangan kolom terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Penulangan kolom eksentris

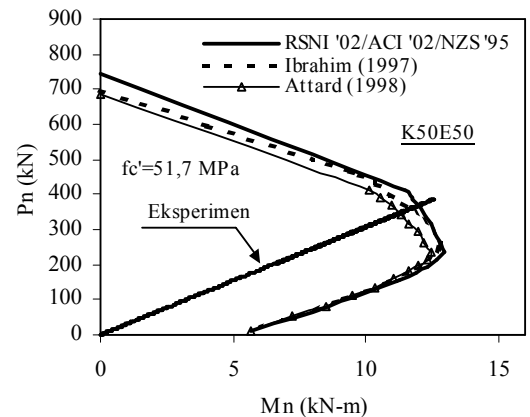
Kode Spesimen	$f_c'$ (MPa); e (mm)	Tulangan longitudinal	
		Tulangan	$\rho$ (%)
K50E25	50 ; 25	4 $\phi$ 10	2,7
K50E50	50 ; 50		
K70E25	70 ; 25	4 $\phi$ 10	2,7
K70E50	70 ; 50		

Pembebanan pada kolom dilakukan secara monotonik menggunakan mesin uji tekan kapasitas 1000 kN dengan sistem pengujian Kontrol Deformasi (*Deformation Control*). Hasil eksperimen berupa diagram interaksi antara beban aksial (P) dengan momen (M).

Gambar 9 sampai 12 adalah diagram interaksi P-M untuk mengevaluasi relevansi dari masing-masing model blok tegangan beton dalam memprediksi kapasitas penampang kolom beton. Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa semua prediksi yang menggunakan semua model cukup konservatif digunakan untuk kuat tekan beton 51,7 MPa.



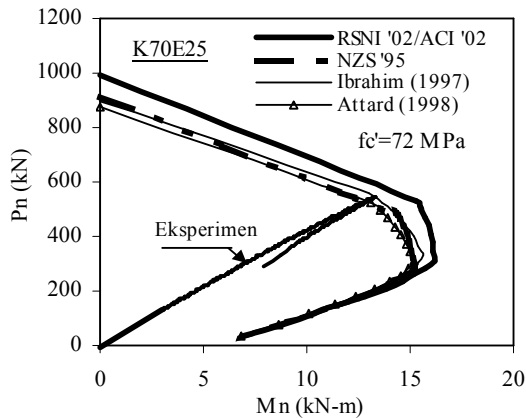
Gambar 9. Validasi model dengan hasil eksperimen kolom K50E25



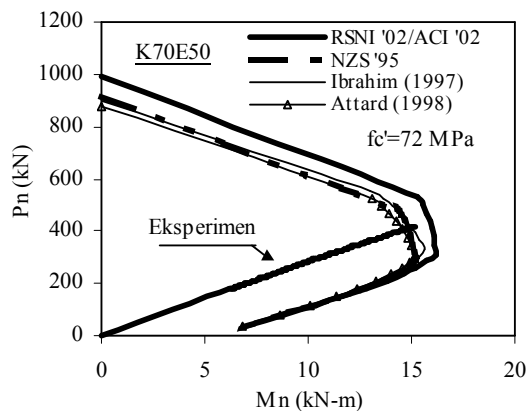
Gambar 10. Validasi model dengan hasil eksperimen kolom K50E50

Diagram interaksi P-M untuk  $f_c'=72$  MPa dengan eksentrisitas beban 25 mm (gambar 11) memperlihatkan bahwa prediksi kapasitas kolom berdasarkan model RSNI '02 over estimasi dan lebih besar 4% dari hasil eksperimen. Sedangkan estimasi berdasarkan model Ibrahim & MacGregor terlihat berimpit/tepat dengan hasil eksperimen. Hasil yang kurang lebih sama diperlihatkan pula pada gambar 12 untuk  $f_c'=72$  MPa dengan eksentrisitas beban 50 mm, dimana prediksi kapasitas kolom berdasarkan RSNI '02 lebih besar 4% dari hasil eksperimen. Namun untuk

model lainnya terlihat bahwa estimasi yang dihasilkan cukup konservatif. Hasil validasi ini mengindikasikan bahwa persamaan yang digunakan dalam RSNI '02 perlu dimodifikasi terlebih dahulu sebelum digunakan dalam desain kolom beton mutu tinggi.



Gambar 11. Validasi model dengan hasil eksperimen kolom K70E25



Gambar 12. Validasi model dengan hasil eksperimen kolom K70E50

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan kajian yang dilakukan di atas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses terlepasnya selimut dari inti beton (*cover spalling*) pada kolom yang terbuat dari beton mutu tinggi terjadi secara prematur, dimana peristiwa ini ditandai dengan lebih rendahnya regangan beton di saat awal *cover spalling* dibandingkan dengan regangan beton tanpa kekangan.
2. Karakteristik tulangan lateral yang dipasang; yang dapat berupa rasio, spasi dan tegangan leleh; mempunyai peranan yang

signifikan dalam proses terjadinya *cover spalling* secara prematur.

3. Kapasitas aksial, baik untuk kolom maupun beton kolom akan semakin meningkat apabila kandungan tulangan lateral yang dipasang yang dinyatakan dalam besaran  $\rho_s \cdot f_y / f_c'$ , juga meningkat.
4. Aplikasi desain berdasarkan model blok tegangan beton yang dianut dalam RSNI '02 memberi hasil yang over estimasi terhadap hasil pengujian kolom dengan kombinasi pembebanan aksial dan lentur, sehingga model tersebut perlu dimodifikasi terlebih dahulu sebelum diaplikasikan pada struktur beton mutu tinggi.
5. Studi perbandingan terhadap aplikasi model-model blok tegangan beton menunjukkan bahwa model berdasarkan NZS '95, model usulan Ibrahim & MacGregor (1997) dan model usulan Attard & Steward (1998) cukup konservatif apabila digunakan untuk memprediksi kapasitas kolom beton mutu normal dan mutu tinggi.

## 7. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Prof.Dr. R. Suhud, Dr. Iswandi Imran dan Dr. Dicky R. Munaf, atas kontribusinya yang sangat berharga sewaktu dilaksanakannya penelitian ini, dalam rangka studi S3 oleh penulis di Institut Teknologi Bandung.

## 8. Daftar Pustaka

- ACI-ASCE Committee 441, 1997, "High-Strength Concrete Columns: State of the Art", ACI Structural Journal, V.94, No.3, May-June, pp.323-335.
- Antonius, 2001, "Perilaku Kolom Beton Mutu Tinggi terhadap Beban Konsentris dan Eksentris", Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI), pp.69-76.
- Bae, S., and Bayrak, O., 2003, "Early Cover Spalling in High-Strength Concrete Columns", Journal of Structural Engineering, V.129, No.3, March 1, 2003, pp.314-323.
- Cusson, D., and Paultre, P., 1993, "Experimental Study of High-Strength Concrete Columns Confined by Rectangular Ties"; Utilization of HSC,



- Proceedings of the Symp. in Lillehammer, Norway, June 20-23, pp.136-145.
- Foster, S.J., Liu, J., and Sheikh, S.A., 1998, "*Cover Spalling in HSC Columns Loaded in Concentric Compression*", Journal of Structural Engineering, ASCE, V.124, No.12, December, pp.1431-1437.
- Ibrahim, H.H.H., and MacGregor, J.G., 1997, "*Modification of the ACI Rectangular Stress Block for High-Strength Concrete*", ACI Struc. Journal, V.94, No.1, pp.40-48.
- Saatcioglu, M., and Razvi, S.R., 1998, "*High Strength Concrete Columns with Square Sections under Concentric Compression*", Journal of Struc. Eng., ASCE, V124, No.12, pp. 1438-1447.
- Sheikh, S.A., and Uzumeri, S.M., 1980, "*Strength and ductility of tied concrete columns*", Journal of Struct. Division, ASCE, V.106, No.ST5, May, pp.1079-1101.
- Steward, M.G. and Attard, M.M., 1999, "*Reliability and Model Accuracy for High-Strength Concrete Column Design*", Journal of Structural Eng. ASCE V.125, No.3, pp.290-300.