

STUDI EKSPERIMENTAL MENGENAI EFEKTIFITAS KEKANGAN TULANGAN LATERAL PADA BETON PENAMPANG PERSEGI

Soehartono *)

Abstrak

Studi eksperimental ini meneliti perilaku kolom beton penampang persegi yang dipasang tulangan lateral. Beberapa parameter desain seperti kuat tekan (f_c), rasio tulangan lateral (ρ_s) dan konfigurasi tulangan lateral merupakan faktor - faktor yang mempengaruhi kekuatan dan daktilitas kolom. Studi eksperimental ini dilakukan dengan membuat benda uji kolom pendek (short column) sebanyak 23 buah. Kolom didesain tanpa selimut beton dan tanpa menggunakan tulangan longitudinal, dengan ukuran 100 x 100 mm dan tinggi 5 (lima) kali lebar kolom. Sedangkan daerah uji (test region) sebesar 200 mm, ditempatkan di tengah-tengah kolom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kuat tekan beton, maka efektifitas kekangan cenderung menurun. Semakin rapat spasi tulangan lateral akan meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang. Model Imran sesuai untuk beton mutu rendah ($f_c < 40\text{MPa}$), model Cusson dan Antonius untuk mutu menengah ($40 < f_c < 60\text{MPa}$) pada konfigurasi tulangan lateral A, dan untuk tulangan lateral C mendekati model Cusson.

Kata kunci: kekangan tulangan lateral, beton penampang persegi

PENDAHULUAN

Pada dekade 90-an, di Indonesia telah mulai dilakukan penelitian secara intensif mengenai perilaku mekanis material beton mutu tinggi. Beberapa sifat beton mutu tinggi diketahui memiliki sifat yang tangguh dibandingkan dengan beton mutu normal, diantaranya pada beton mutu tinggi mempunyai kekakuan dan ketegaran retak yang lebih tinggi serta sifat durabilitas yang lebih baik [ACI - ASCE, 1997]. Hal ini menjadikan beton mutu tinggi mempunyai prospek penggunaan yang sangat baik di masa mendatang. 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. Peraturan beton Indonesia (SNI, 92), persamaan desain yang digunakan pada umumnya masih berdasarkan hasil pengujian untuk beton mutu normal.

*) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pandanaran

Beton mutu tinggi masih perlu diselidiki lebih lanjut aplikasi berdasarkan ketentuan perencanaan tersebut dalam penggunaan pada komponen struktur yang terbuat dari beton mutu tinggi. Berdasarkan perilaku mekanis yang dimilikinya, seperti kuat tekan yang lebih baik dibanding beton mutu normal, beton mutu tinggi sangat cocok diaplikasikan pada struktur beton prategang maupun komponen struktur yang dominan menahan beban aksial seperti kolom. Studi mengenai perilaku kolom beton yang dipasang tulangan lateral di Indonesia telah dikembangkan pada pertengahan dasawarsa 90-an [Antonius dkk, 1999]. Kenyataan dilapangan kolom yang berpenampang persegi lebih banyak dipakai daripada penampang bulat. Perbedaan utama antara penampang bulat dan penampang persegi adalah “konfigurasi tulangan”, yang merupakan parameter pada penampang persegi tidak terdapat pada penampang bulat.

Parameter konfigurasi tulangan lateral memegang peranan yang 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 lateral tidak diperhitungkan. Hal ini dapat menimbulkan ketidakpastian dalam desain struktur.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perilaku kekuatan dan daktilitas struktur kolom beton penampang persegi. Efektifitas tulangan lateral dalam mengontrol deformasi kolom adalah kajian utama dalam studi yang dilakukan. Beberapa parameter desain seperti kuat tekan beton (f_c'), rasio tulangan lateral dan konfigurasi tulangan lateral merupakan faktor – faktor yang mempengaruhi kekuatan dan daktilitas kolom.

PEMBAHASAN

Hasil uji kuat tekan beton silinder 15 cm x 30 cm (f_c'), tegangan beton tanpa kekangan/spesimen kontrol (unconfined, f_{co}'), data beban maksimum (P_{mak}), regangan beton pada respon puncak (ϵ_{cc}'), tegangan puncak beton terkekang (f_{oc}') dan peningkatan kekuatan beton terkekang ($K = f_{cc}'/f_{co}'$). Spesimen kontrol (SCL, SCM, dan SCH) karena tanpa tulangan lateral, maka tegangan yang terjadi adalah tegangan beton terkekang. Spesimen kontrol tersebut bisa juga disebut sebagai kolom beton tidak terkekang (*unconfined*) atau f_{co}' .

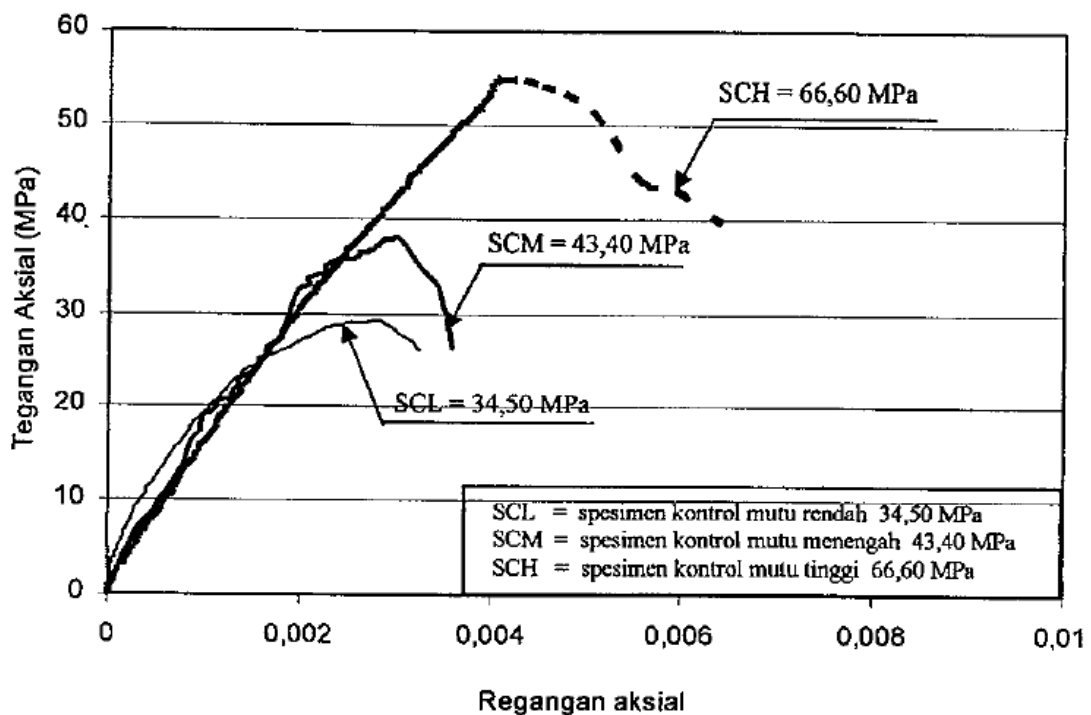
Tabel 1. Hasil pengujian kolom

No	Kode Spesimen	f_c' (Mpa)	f_{co}' (Mpa)	P_{mak} (kN)	ϵ_{cc}'	f_{cc}' (Mpa)	$K = f_{cc}'/f_{co}'$
1	SCL	34.50	29.142	291.42	0.0028	-	-
2	SCM	43.40	38.171	271.71	0.0030	-	-
3	SCH	66.60	54.818	548.18	0.0041	-	-
4	AL5	34.50	29.142	301.86	0.0041	33.802	0.16
5	AM5	43.40	38.171	359.02	0.0045	10.203	1.05
6	AM10	43.40	38.171	326.63	0.0030	36.576	0.96
7	AH5	66.60	54.818	533.23	0.0078	59.711	1.09
8	AH10	66.60	54.818	474.43	0.0051	53.126	0.97
9	BL5	34.50	29.142	300.86	0.0017	33.690	1.16
10	BM5	43.40	38.171	445.44	0.0057	49.880	1.31
11	BM10	43.40	38.171	313.72	0.0026	35.130	0.92
12	BH5	66.60	54.818	631.64	0.0071	70.730	1.29
13	BH10	66.60	54.818	499.92	0.0039	55.980	1.02
14	CL5	34.50	29.142	329.26	0.0031	36.870	1.27
15	CM5	43.40	38.171	375.25	0.0051	42.020	1.10
16	CM10	43.40	38.171	329.7	0.0034	36.920	0.97
17	CH5	66.60	54.818	606.63	0.0125	67.930	1.24
18	CH10	66.60	54.818	496.97	0.0031	55.650	1.02
19	DL5	34.50	29.142	390.87	0.0071	43.770	1.50
20	DM5	43.40	38.171	444.01	0.0091	49.720	1.30
21	DM10	43.40	38.171	300.22	0.0039	33.620	0.88
22	DH5	66.60	54.818	558.41	0.0107	62.535	1.14
23	DH10	66.6	54.818	508.33	0.0050	57	1.04

Untuk spesimen dengan nilai $K < 1$ karena selisih masih dibawah 10% dianggap tidak berbeda secara signifikan.

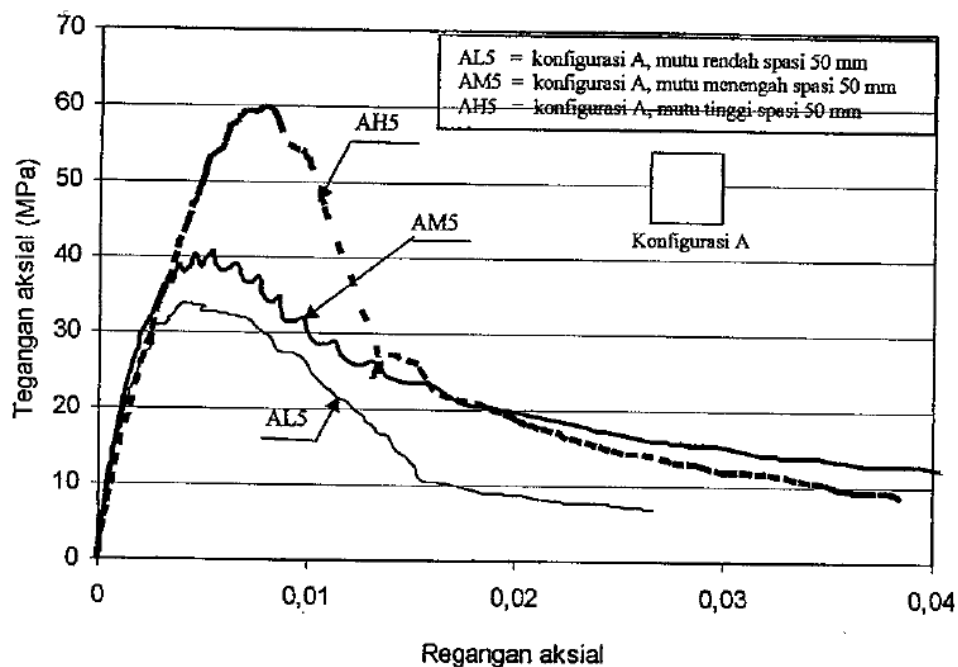
Pengaruh Kuat Tekan Beton (f'_c)

Gambar 1. berikut memperlihatkan kurva tegangan-regangan beton tanpa kekakuan (*unconfined*) dengan variasi kuat tekan beton (f'_c). Specimen SCL memperlihatkan bentuk kurva sebelum respon yang non linear. Perilaku ini kurang lebih sama dengan asumsi yang biasa digunakan untuk kurva tegangan-regangan beton mutu normal ($f'_c < 40$ Mpa). Selain itu kurva pasca puncak juga cenderung lebih landai dibandingkan kurva lainnya. Specimen SCM memperlihatkan bentuk kurva sebelum respon puncak mendekati linier. Perilaku ini kurang lebih juga sama dengan asumsi yang biasa digunakan untuk tegangan-regangan beton mutu menengah ($40 < f'_c < 60$ Mpa). Kurva pasca puncak juga cenderung lebih curam dibandingkan dengan kurva lainnya. Pada kurva spesimen SCH terlihat bahwa kurva sebelum respon puncak lebih linear dibandingkan kurva yang sama untuk spesimen SCL. Bahkan untuk spesimen SCH ($f'_c > 60$ MPa) atau kuat tekan beton yang lebih tinggi lagi, kurva tersebut terlihat paling lurus/linear daripada kedua kurva di atas. Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin tinggi mutu beton akan mempunyai kapasitas retak yang lebih tinggi pula. Namun pada beton mutu tinggi kapasitas tersebut cenderung menurun.



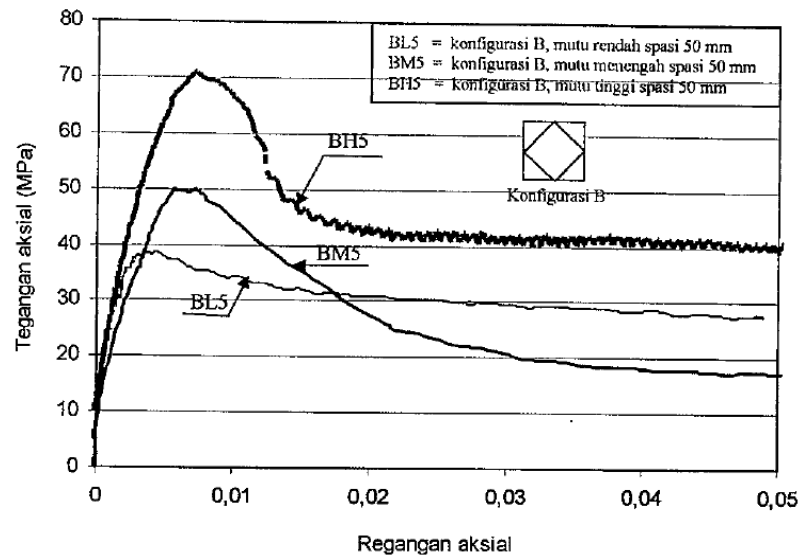
Gambar 1. Grafik tegangan-regangan pembebanan secara monotomik

Perbandingan pengaruh f_c' lainnya terlihat pada Gambar 2 (konfigurasi A). Semakin tinggi mutu beton, kurva pasca puncak cenderung lebih curam, berarti bahwa daktilitas beton terkekang cenderung menurun. Hal ini menandakan efektivitas kekangan tulang lateral untuk beton mutu tinggi (AH5) tidak efektif, dan mempunyai nilai peningkatan kekuatan beton terkekang (K) = 1,09. Beton mutu menengah (AM5) mempunyai kurva pasca puncak turun tidak begitu curam, menandakan efektivitas kekangan tulangan lateral lebih efektif dibanding beton mutu tinggi dengan nilai K = 1,05. Kurva pasca puncak beton mutu rendah (AL5) turun tidak begitu curam, ditunjukkan dengan nilai K = 1,16 dimana efektivitas kekangan tulangan lateral paling baik dibanding kedua mutu beton AH5 dan AM5.



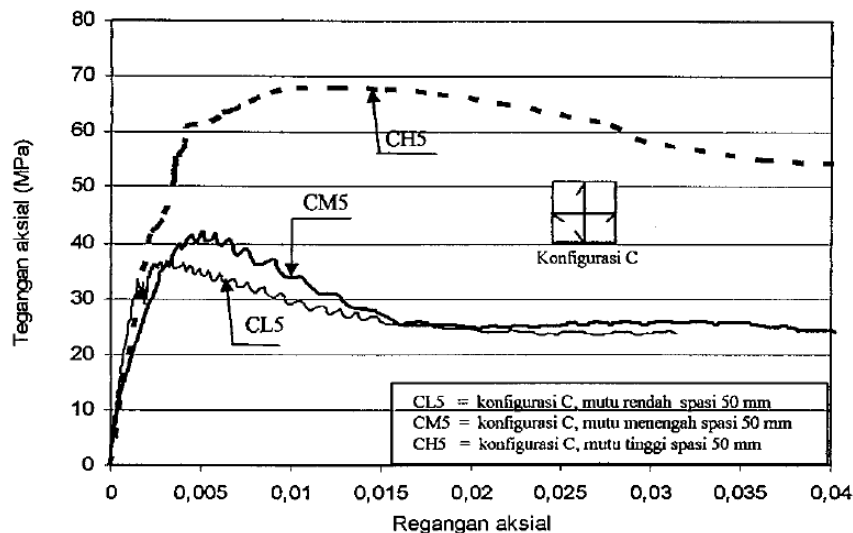
Gambar 2. Grafik tegangan-regangan beton terkekang konfigurasi A pembebanan secara monotonik

Pengaruh f_c' untuk konfigurasi tulangan lateral B (Gambar 3) menunjukkan nilai K untuk spesimen BL5, BM5, dan BH5 masing-masing adalah 1,16; 1,31; dan 1,29. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kekangan tulangan lateral pada beton mutu tinggi cukup baik dalam meningkatkan kekuatan beton terkekang. Namun perilaku daktilitasnya cenderung menurun, ditandai dengan kurva pasca puncak yang lebih curam dibandingkan dengan spesimen dengan kuat tekan beton lebih rendah.



Gambar 3. Grafik tegangan-regangan beton terkekang konfigurasi B pembebanan secara monotonik

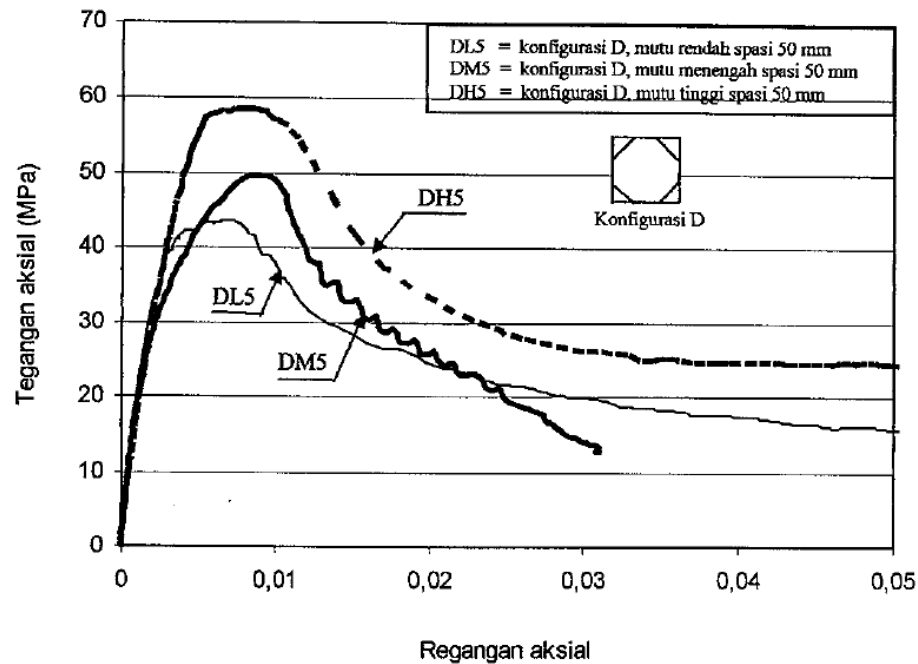
Gambar 4 menunjukkan pengaruh f_c' untuk konfigurasi lateral C. Nilai K untuk CL5, CM5, dan CH5 adalah 1,27; 1,0; dan 1,24; menunjukkan bahwa kekangan tulangan lateral beton mutu tinggi cukup baik dalam meningkatkan kekuatan beton terkekang. Namun perilaku daktilitasnya juga cenderung menurun.



Gambar 4. Grafik tegangan-regangan beton terkekang konfigurasi C pembebanan secara monotonik

Gambar 5 menunjukkan pengaruh f_c' untuk konfigurasi lateral D. Nilai K untuk DH5 (beton mutu tinggi) adalah 1,14; kurva pasca puncak turun agak curam. Menunjukkan perilaku kekangan tulangan lateral tidak efektif. Nilai K beton mutu menengah (DM5) sebesar 1,30 dan beton mutu rendah (DL5) sebesar 1,50. Kurva

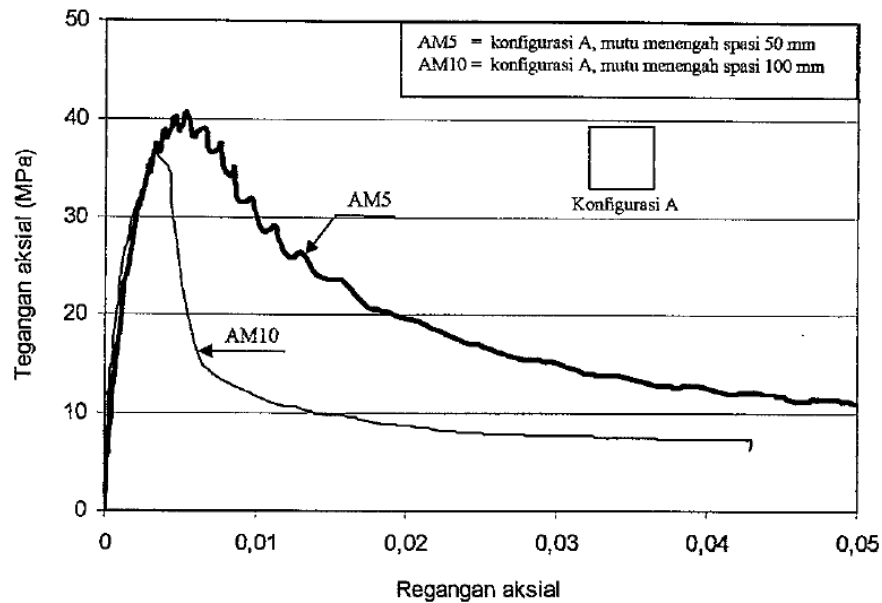
pasca puncak keduanya turun agak curam, menunjukkan perilaku kekangan tulangan lateral tidak efektif dan semakin tinggi mutu beton nilai K semakin turun.



Gambar 5. Grafik tegangan-regangan beton terkekang konfigurasi D pembebanan secara monotonik

Pengaruh Spasi Tulangan Lateral

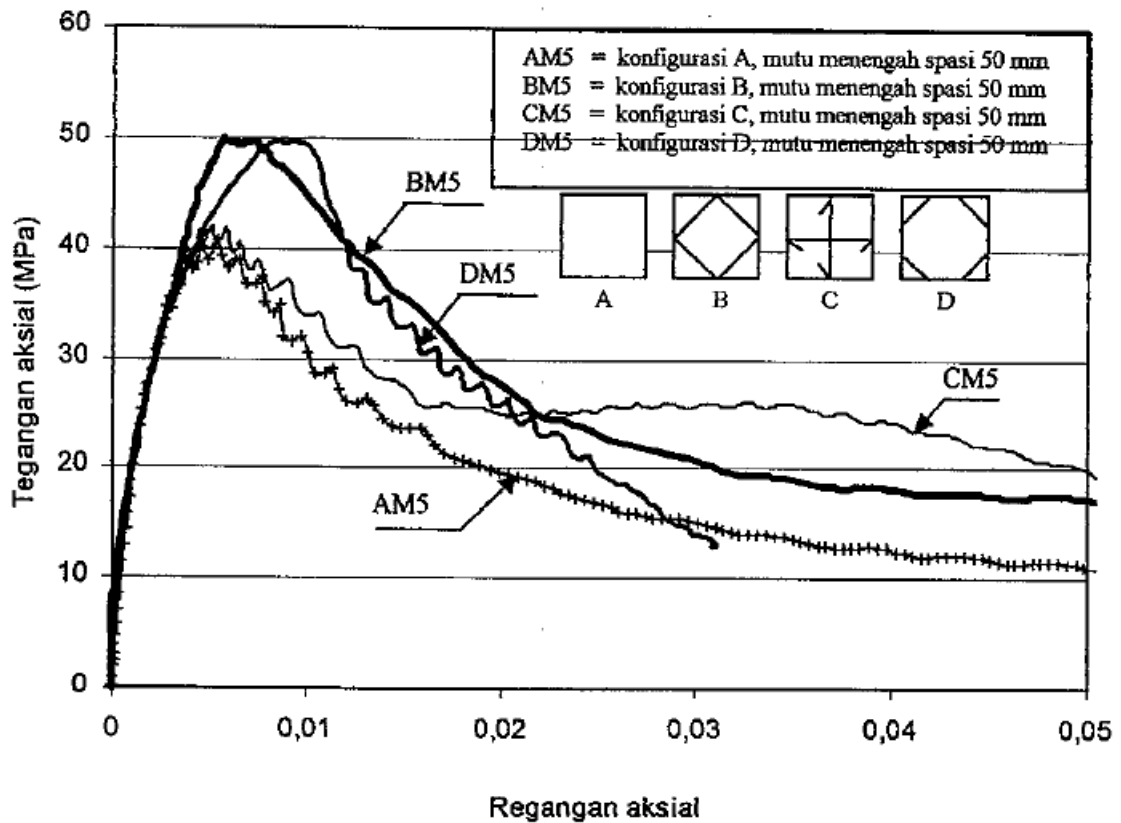
Gambar 6 menunjukkan pengaruh spasi tulangan lateral terhadap kekuatan dan daktilitas beton terkekang untuk beton mutu menengah ($f_c' = 43,50$ Mpa). Nilai K spesimen AM5 dan AM10 adalah 1,05 dan 0,96; sedangkan ϵ_{cc}' AM5 dan AM10 sebesar 0,0045 dan 0,003. Menunjukkan bahwa pemasangan spasi tulangan lateral yang semakin rapat akan meningkatkan nilai K dan kmpa beton terkekang untuk berdeformasi juga lebih baik. Perilaku yang sama terjadi pada pengaruh spasi tulangan lateral untuk konfigurasi B, C, dan D baik untuk beton mutu menengah maupun untuk beton mutu tinggi.



Gambar 6. Grafik tegangan-regangan beton terkekang konfigurasi A pembebanan secara monotonik

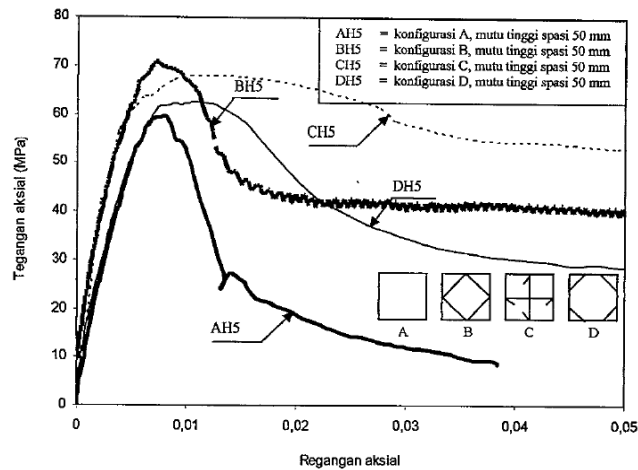
Pengaruh Konfigurasi Tulangan Lateral

Gambar 7 menunjukkan perbandingan konfigurasi tulangan lateral terhadap kekuatan dan daktilitas beton terkekang untuk beton mutu menengah ($f_c' = 43,5$ Mpa). Nilai K AM5 = 1,05 dengan nilai $\epsilon_{cc}' = 0,0045$, nilai K spesimen BM5 = 1,31 dengan $\epsilon_{cc}' = 0,0057$, nilai K spesimen CM5 = 1,10 dengan $\epsilon_{cc}' = 0,0051$, sedangkan nilai K spesimen DM5 = 1,30 dengan $\epsilon_{cc}' = 0,0091$. Keempat konfigurasi tersebut tampak bahwa tulangan lateral B dan D memiliki kemampuan meningkatkan kekuatan beton terkekang yang relatif sama namun kemampuan untuk berdeformasi pada konfigurasi tulangan lateral D adalah yang terbaik.



Gambar 7. Grafik tegangan-regangan beton terkekang konfigurasi tulangan lateral A, B, C, dan D pembebanan secara monotonik ($f_c' = 43,50$ Mpa, spasi 50 mm).

Gambar 8 menunjukkan perbandingan konfigurasi tulangan lateral terhadap kekuatan dan daktilitas beton terkekang untuk beton mutu tinggi ($f_c' = 66,6$ Mpa). Nilai $K_{AH5} = 1,09$ dengan nilai $\epsilon_{cc}' = 0,0078$, nilai K spesimen $BH5 = 1,29$ dengan $\epsilon_{cc}' = 0,0071$, nilai K spesimen $CH5 = 1,24$ dengan $\epsilon_{cc}' = 0,0125$, sedangkan nilai K spesimen $DH5 = 1,14$ dengan $\epsilon_{cc}' = 0,0107$. Keempat konfigurasi tersebut tampak bahwa tulangan lateral B adalah yang tertinggi, sedangkan konfigurasi C memiliki kemampuan berderformasi yang terbaik. Hasil ini menunjukkan bahwa pemasangan tulangan lateral konfigurasi B mampu meningkatkan kekuatan beton terkekang yang terbaik, sedangkan pemasangan tulangan lateral konfigurasi C adalah yang paling daktil.



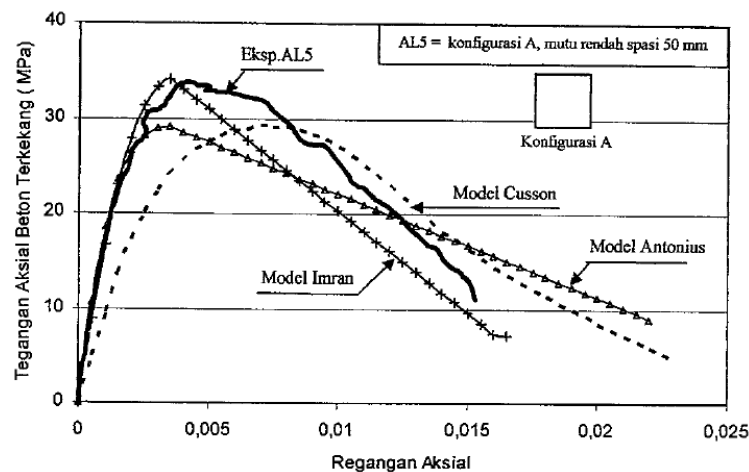
Gambar 8. Grafik tegangan-regangan beton terkekang konfigurasi tulangan lateral A, B, C, dan D pembebanan secara monotonik ($f_c' = 66,60$ Mpa, spasi 50 mm).

Validasi Model-model Kekangan dengan Hasil Eksperimen

Berikutnya hasil eksperimen kolom dengan pembebanan secara monotonik dibandingkan dengan model Cusson, Imran dan Antonius sebagai berikut:

Perbandingan pada beton mutu rendah spasi 50 mm

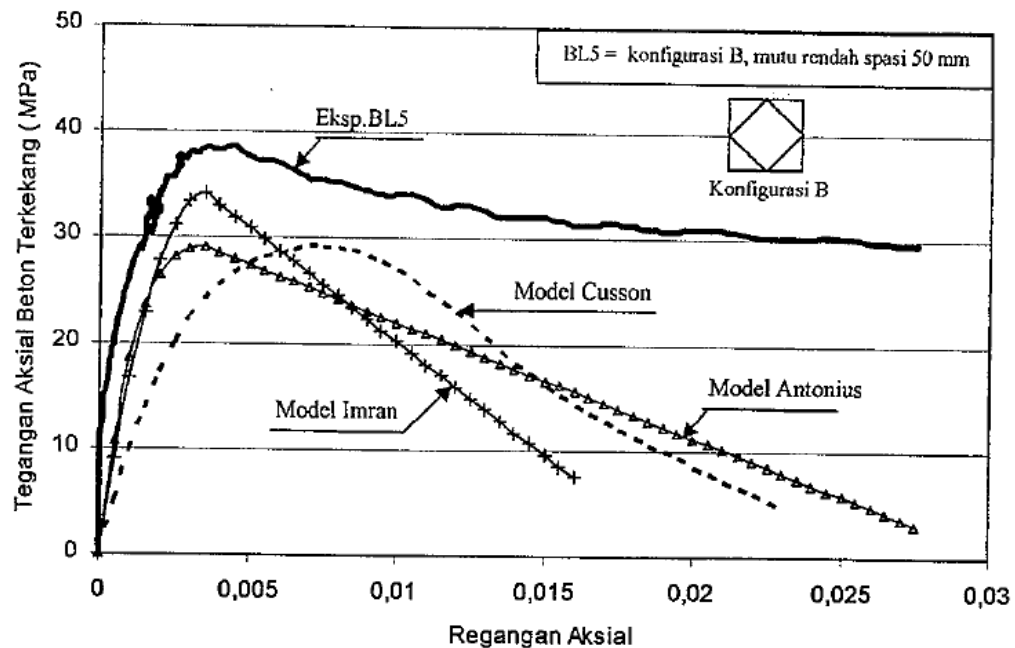
Gambar 9 memperlihatkan perbandingan model-model kekangan dan hasil eksperimen AL5. Gambar ini menunjukkan kemiripan perilaku kurva tegangan-regangan beton terkekang dengan model Imran.



Gambar 9. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen AL5

Gambar 10 memperlihatkan perbandingan model-model kekangan dan hasil eksperimen BL5. Gambar ini menunjukkan prediksi model kekangan beton mutu

rendah dengan koefisien tulangan lateral B berdeviasi cukup signifikan, baik untuk tegangan puncak beton terkekang maupun perilaku pasca puncak. Hasil yang sama juga terjadi untuk prediksi spesimen CL5 dan DL5.

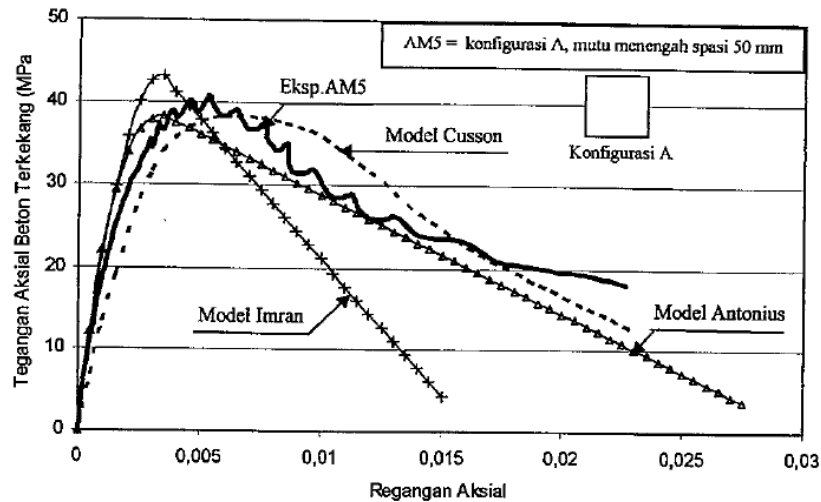


Gambar 10. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen BL5

Perbandingan antar model-model kekangan dan hasil eksperimen di atas menunjukkan bahwa untuk beton mutu rendah ($f_c' = 34,50$ Mpa), model Imran adalah model yang mendekati hasil eksperimen terutama untuk spesimen dengan konfigurasi tulangan lateral A.

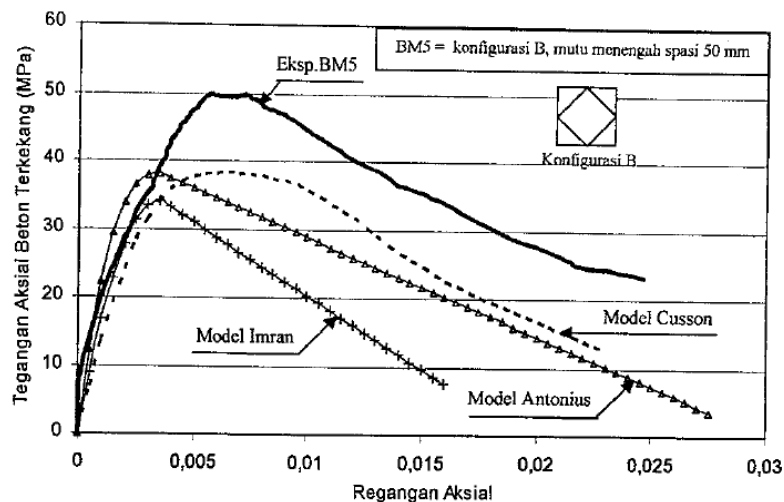
Perbandingan pada beton mutu menengah spasi 50 mm

Gambar 11 memperlihatkan perbandingan model-model kekangan dan hasil eksperimen AM5. Gambar ini menunjukkan kemiripan perilaku kurva tegangan-regangan beton terkekang dengan model Cusson dan Antonius.

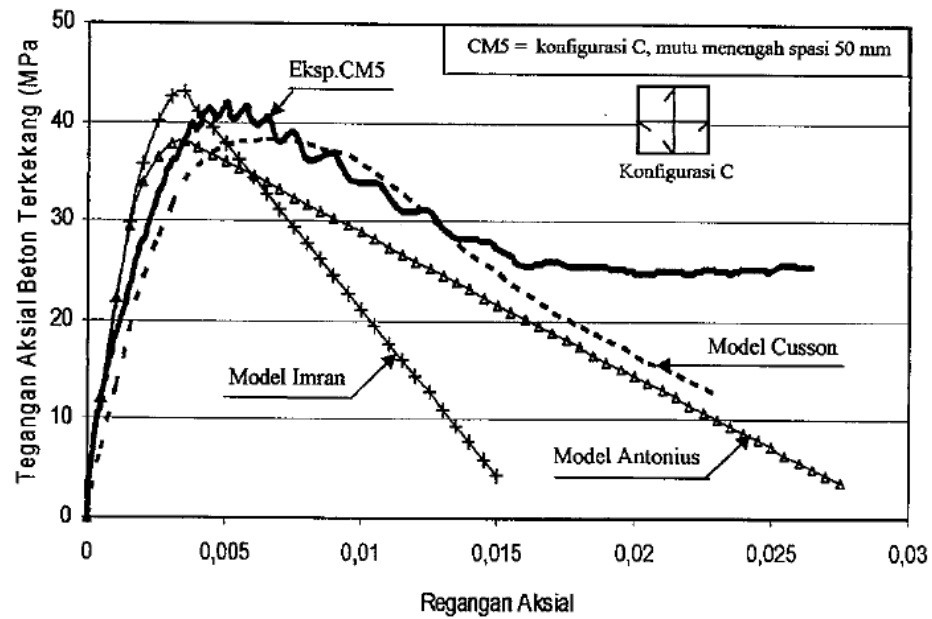


Gambar 11. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen AM5

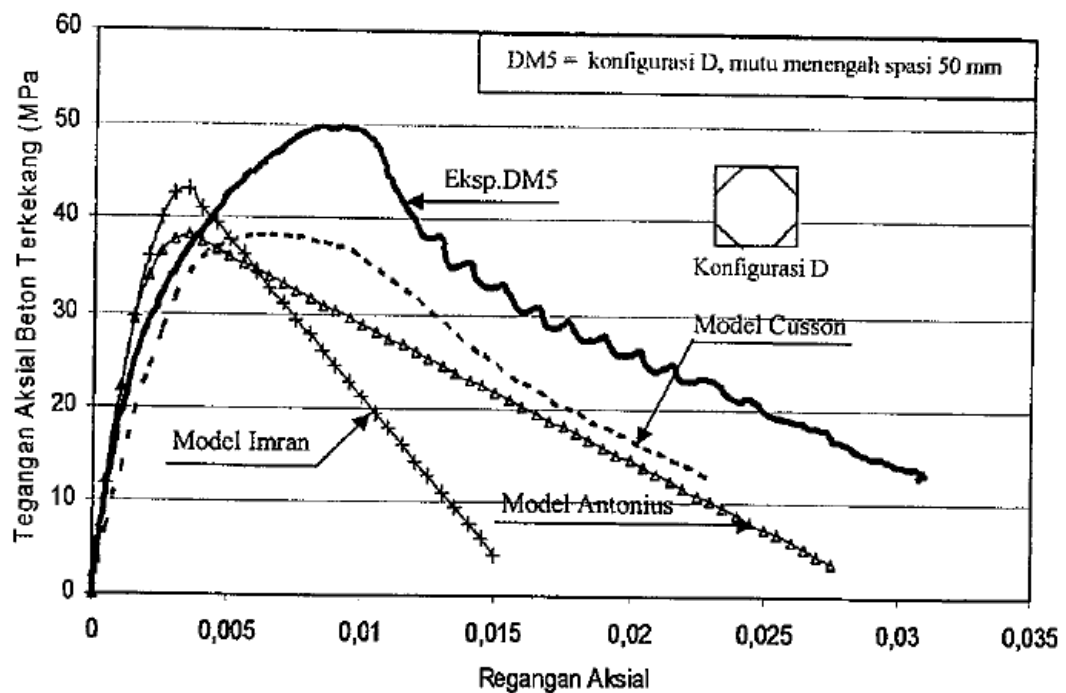
Prediksi perilaku tegangan-regangan beton terkekang untuk beton mutu menengah dengan koefisien tulangan lateral B menyimpang cukup signifikan (Gambar 12), sedangkan untuk model Cusson cukup akurat dalam memprediksi spesimen CM5 (Gambar 13). Perbandingan model-model kekangan dengan hasil eksperimen spesimen DM5 berdeviasi cukup besar, baik untuk tegangan puncak beton terkekang maupun kurva pasca puncak (Gambar prediksi spesimen CL5 dan DL5 (Gambar 14).



Gambar 12. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen BM5



Gambar 13. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen CM5



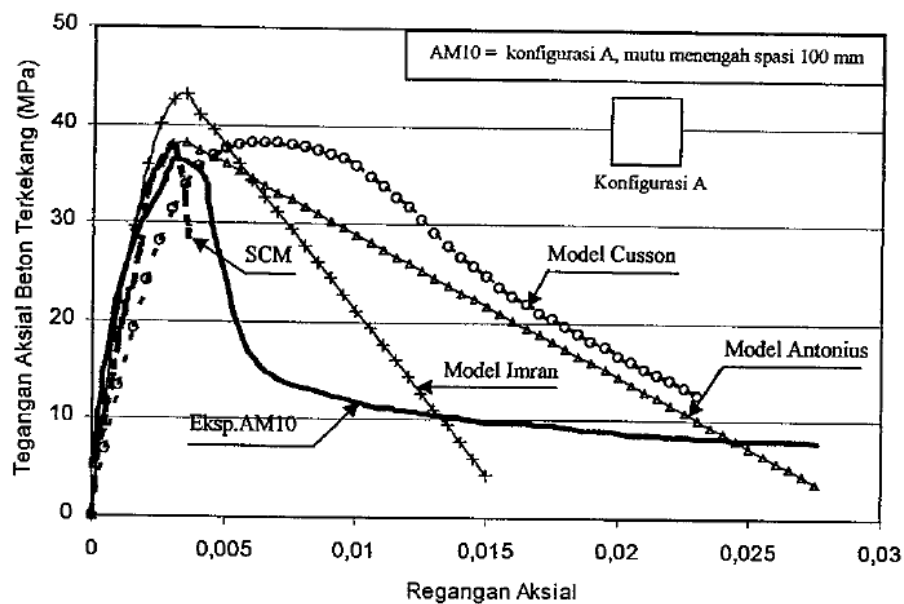
Gambar 14. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen DM5

Perbandingan model-model kekangan pada beton mutu menengah ($f_c' = 43,50$ Mpa) di atas menunjukkan bahwa model Cusson dan model Antonius adalah yang

mendekati hasil eksperimen terutama untuk spesimen dengan konfigurasi tulangan lateral A, sedangkan untuk kolom dengan konfigurasi tulangan lateral C, model Cusson adalah yang paling akurat.

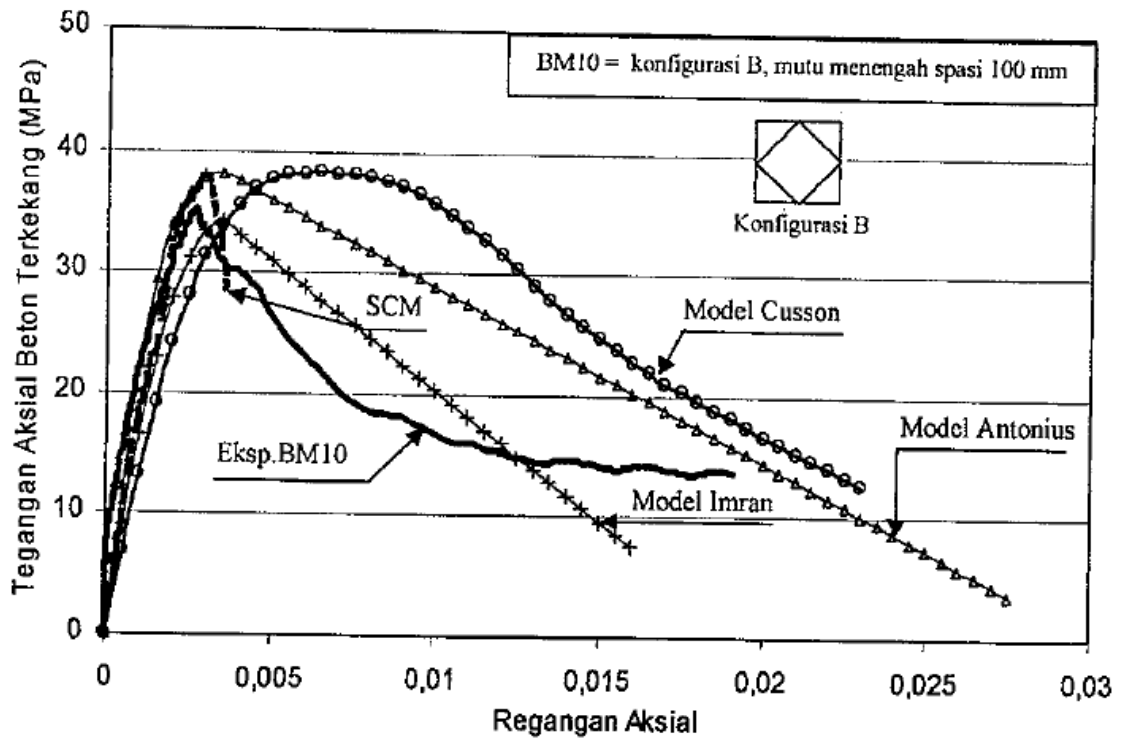
Perbandingan pada beton mutu menengah spasi 100 mm

Gambar 15 memperlihatkan perbandingan model-model kekangan dan hasil eksperimen AM10. Gambar ini menunjukkan perilaku kurva pasca puncak beton terkekang yang sangat curam, menandakan tidak efektifnya fungsi kekangan dimana kurva hasil eksperimen serupa dengan kurva spesimen kontrol SCM.

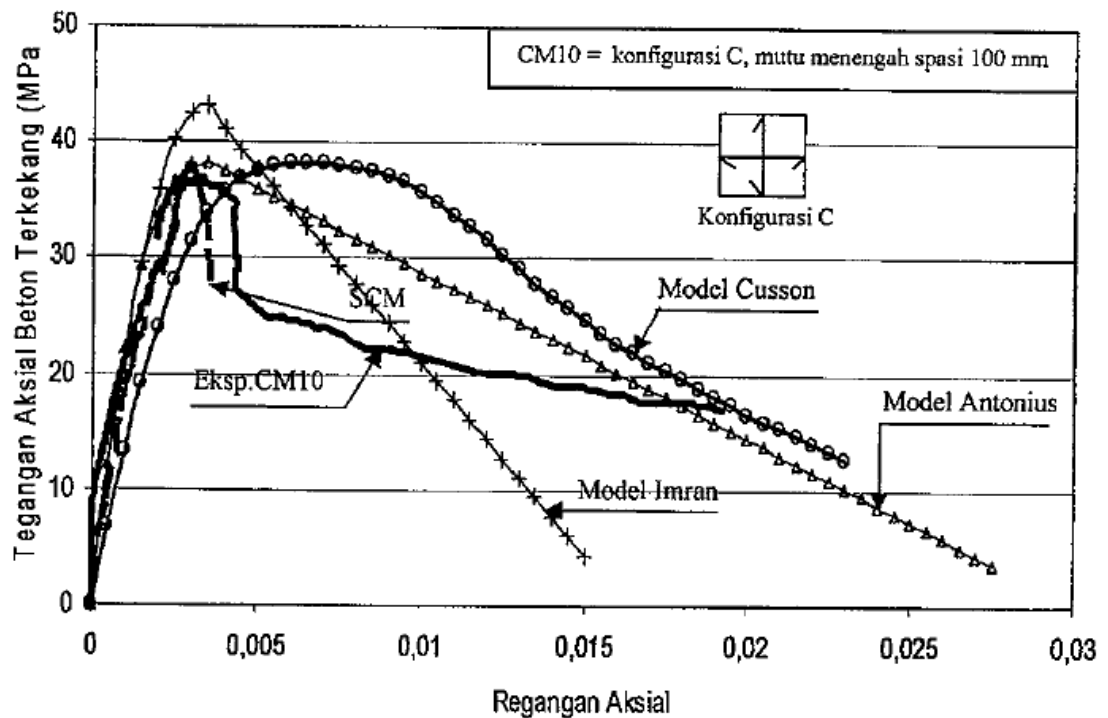


Gambar 15. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen AM10

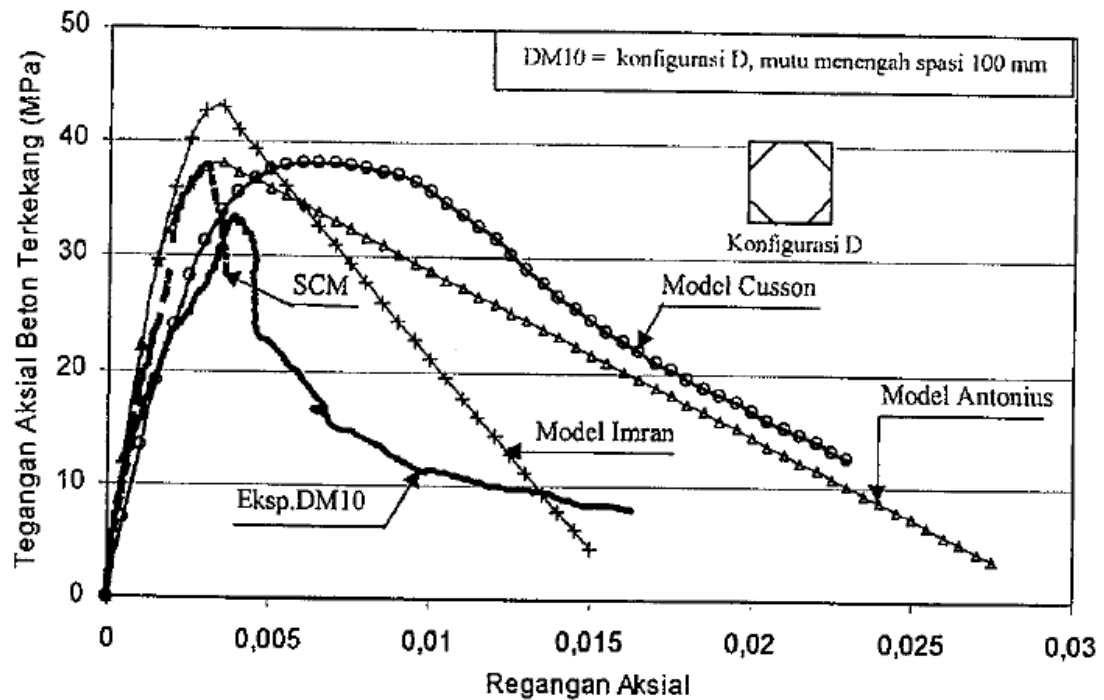
Hasil eksperimen spesimen BM10 menunjukkan perilaku kurva tegangan-regangan beton bertulang terkekang yang mendekati model Imran (Gambar 16). Sementara model-model kekangan untuk spesimen CM10 dan DM10 tidak ada yang mendekati (Gambar 17 dan Gambar 18).



Gambar 16. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen BM10



Gambar 17. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen CM10

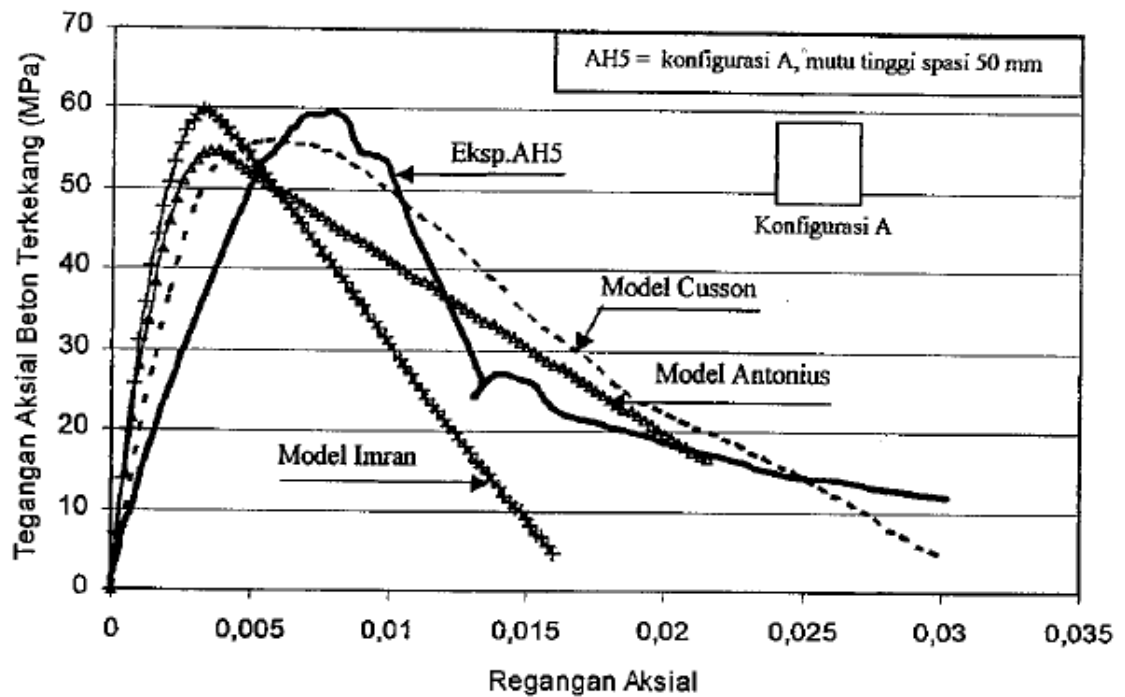


Gambar 18. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen DM10

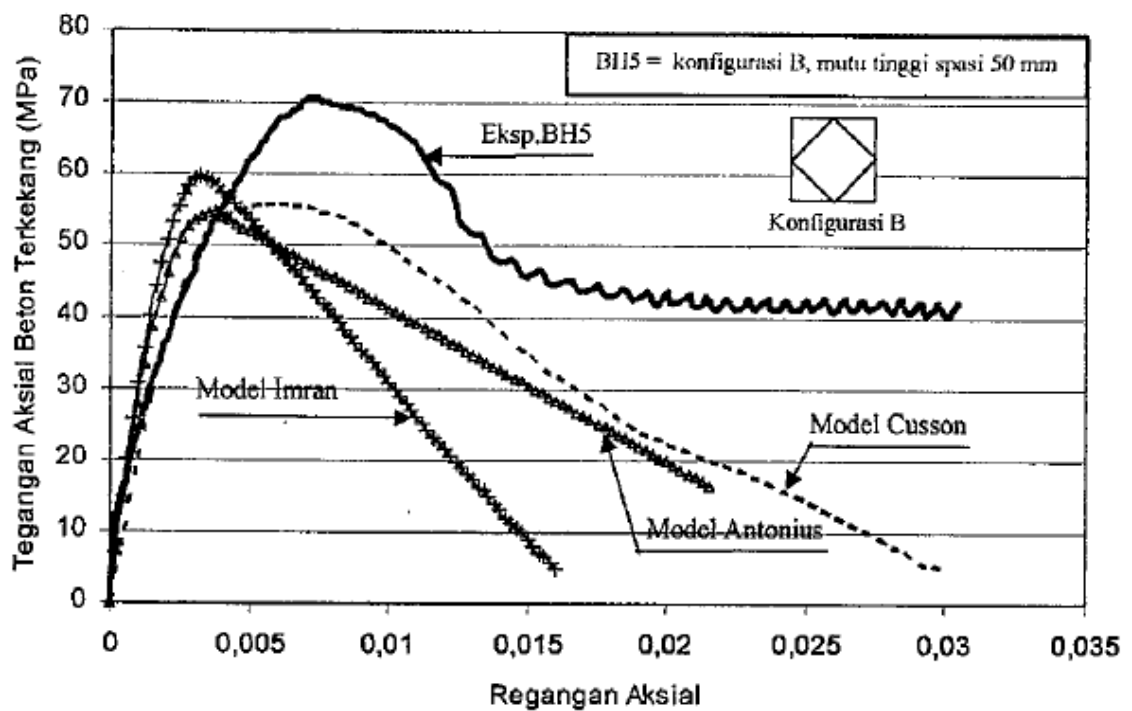
Perbandingan model-model kekangan pada beton mutu menengah ($f_c' = 43,50$ Mpa) spesimen kontrol SCM pada umumnya mendekati dengan hasil eksperimen. Hasil ini mengindikasikan bahwa pemasangan spasi tulangan lateral dengan lebar yang sama dengan lebar inti kolom akan menjadi tidak efektif, atau dengan kata lain menjadi kolom beton tidak terkekang (*unconfined*).

Perbandingan pada beton mutu tinggi spasi 50 mm

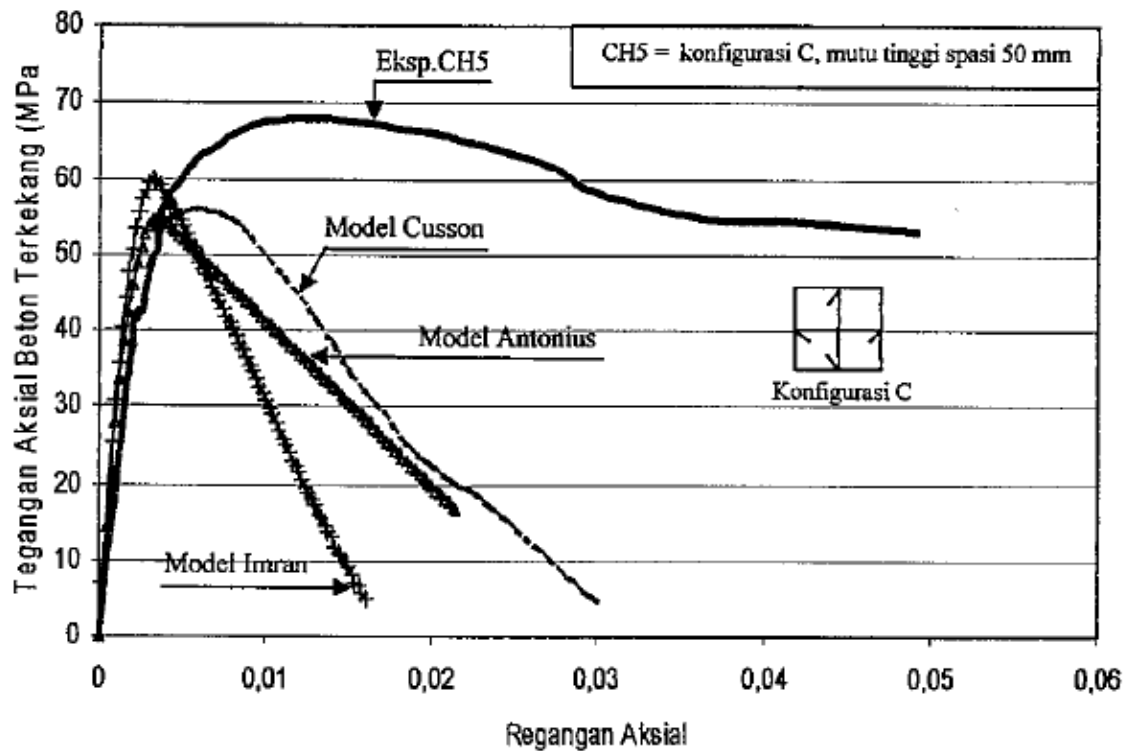
Gambar 19 menunjukkan prediksi model kekangan berdasarkan model Cusson dan Antonius lebih mendekati eksperimen spesimen AH5 dibandingkan dengan model lainnya. Sedangkan kurva tegangan-regangan beton terkekang spesimen BH5, CH5, dan DH5 tidak ada yang mendekati dengan semua model-model kekangan (Gambar 20, 21, dan 23).



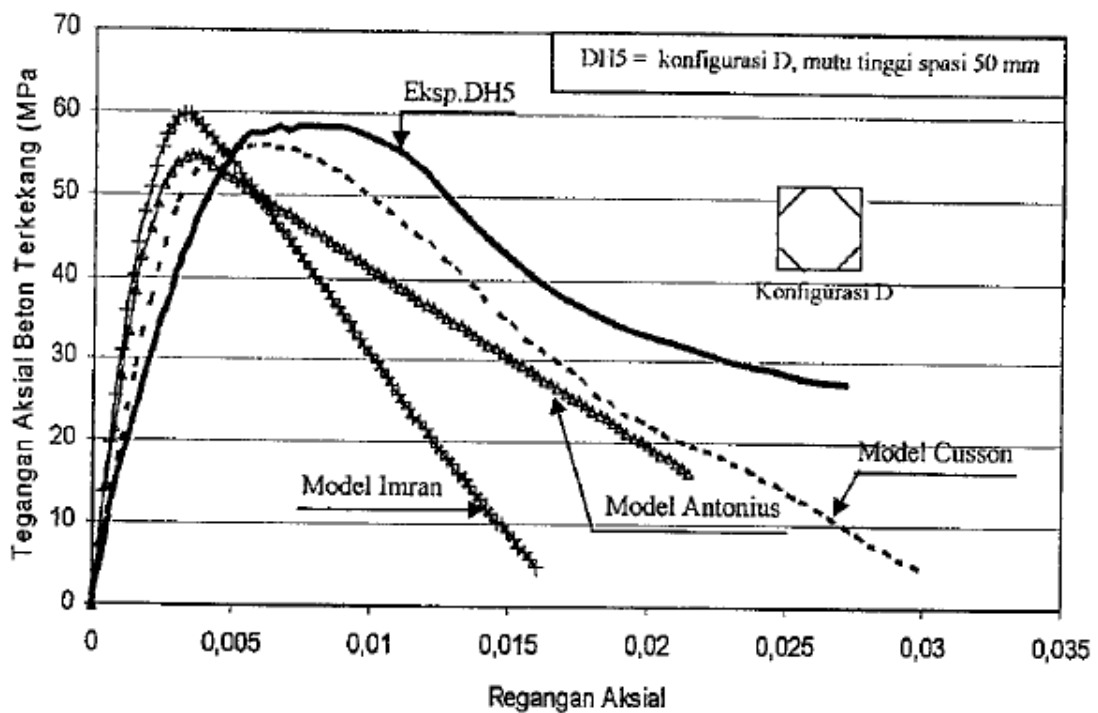
Gambar 19. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen AH5



Gambar 20. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen BH5



Gambar 21. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen CH5

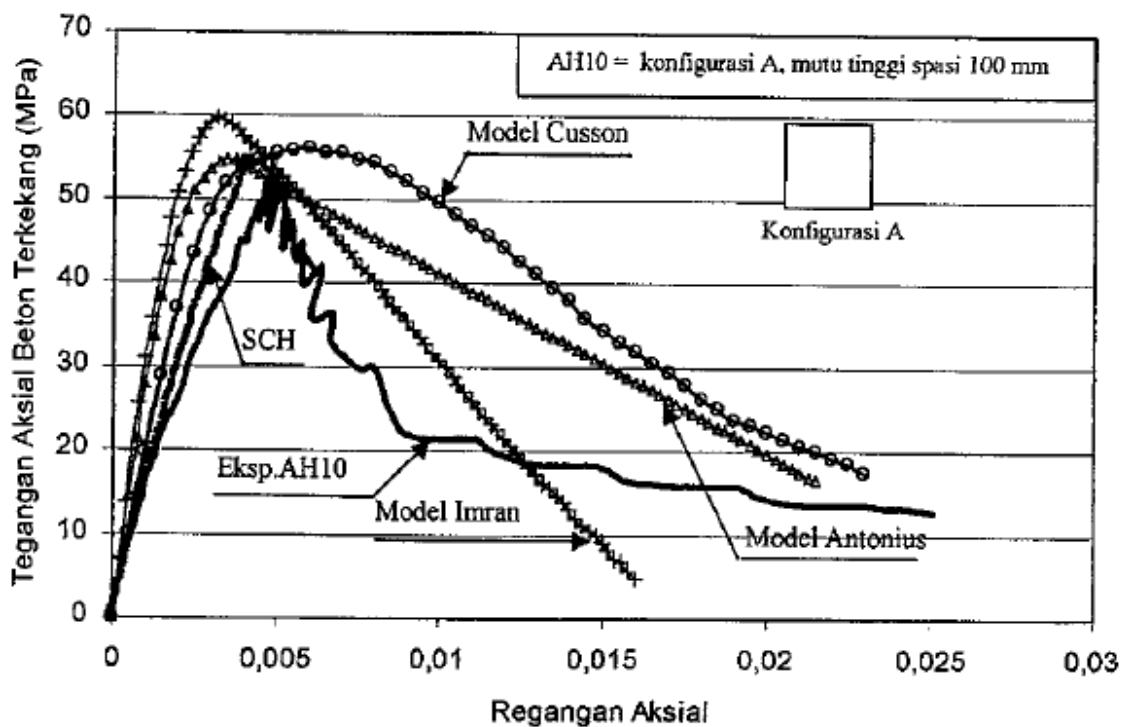


Gambar 22. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen CH5

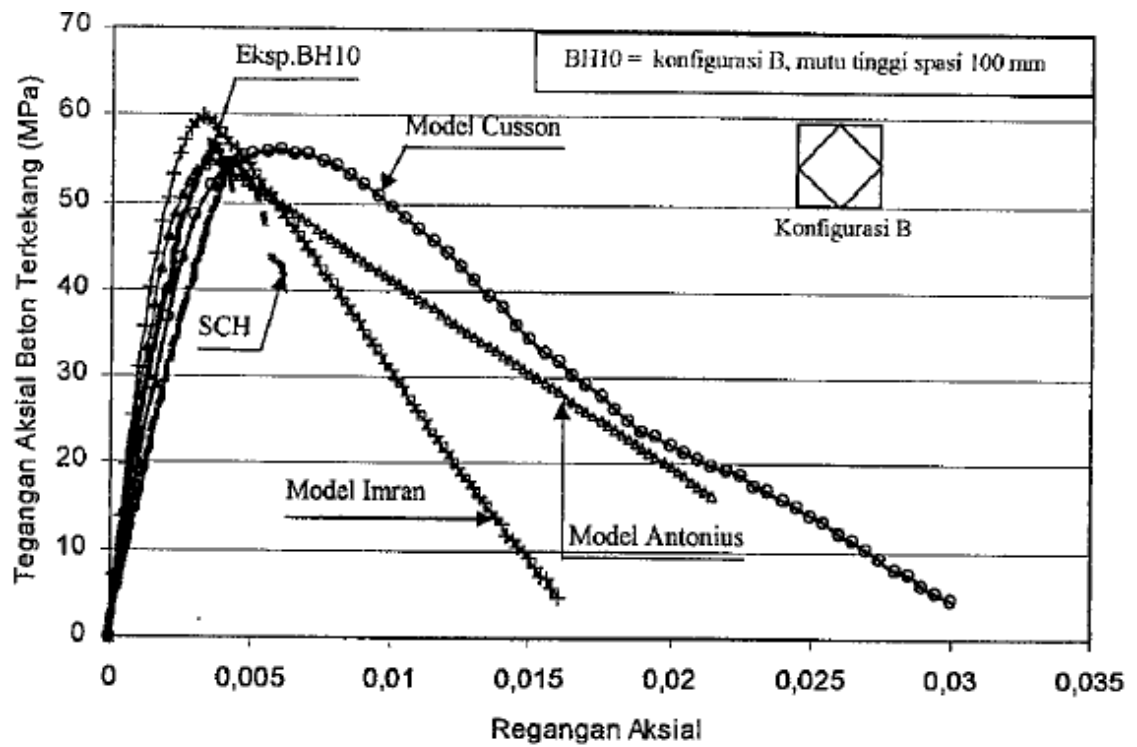
Berdasarkan perbandingan model-model kekangan dan hasil eksperimen di atas terlihat bahwa untuk beton mutu tinggi ($f_c' = 66,60$ Mpa) model Cusson dan model Antonius adalah yang paling mendekati hasil eksperimen terutama untuk spesimen dengan konfigurasi tulangan lateral A.

Perbandingan pada beton mutu tinggi spasi 100 mm

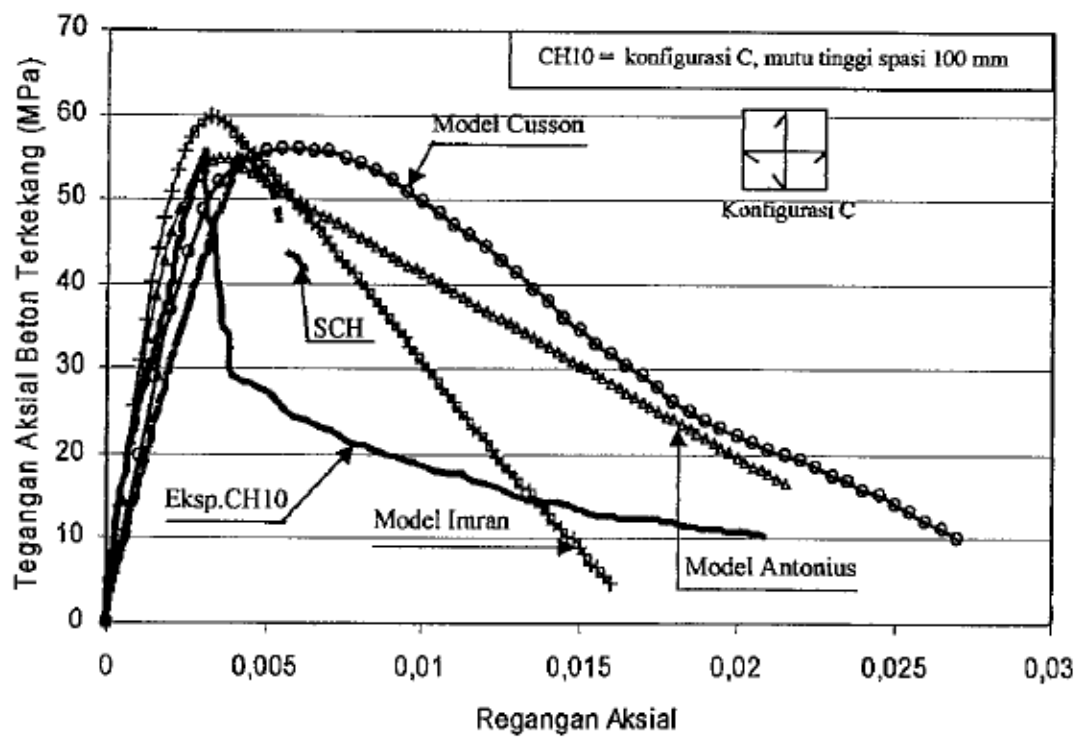
Gambar 23 menunjukkan model kekangan dan hasil eksperimen spesimen AH10. Hasil menunjukkan tidak ada kurva model kekangan yang mendekati atau menyerupai kurva hasil eksperimen, baik kurva sebelum maupun kurva pasca puncak. Dan secara umum tidak ditemukan prediksi model-model kekangan yang mendekati hasil eksperimen pada spesimen BH10, CH10, dan DH10 (Gambar 24, 25, 26).



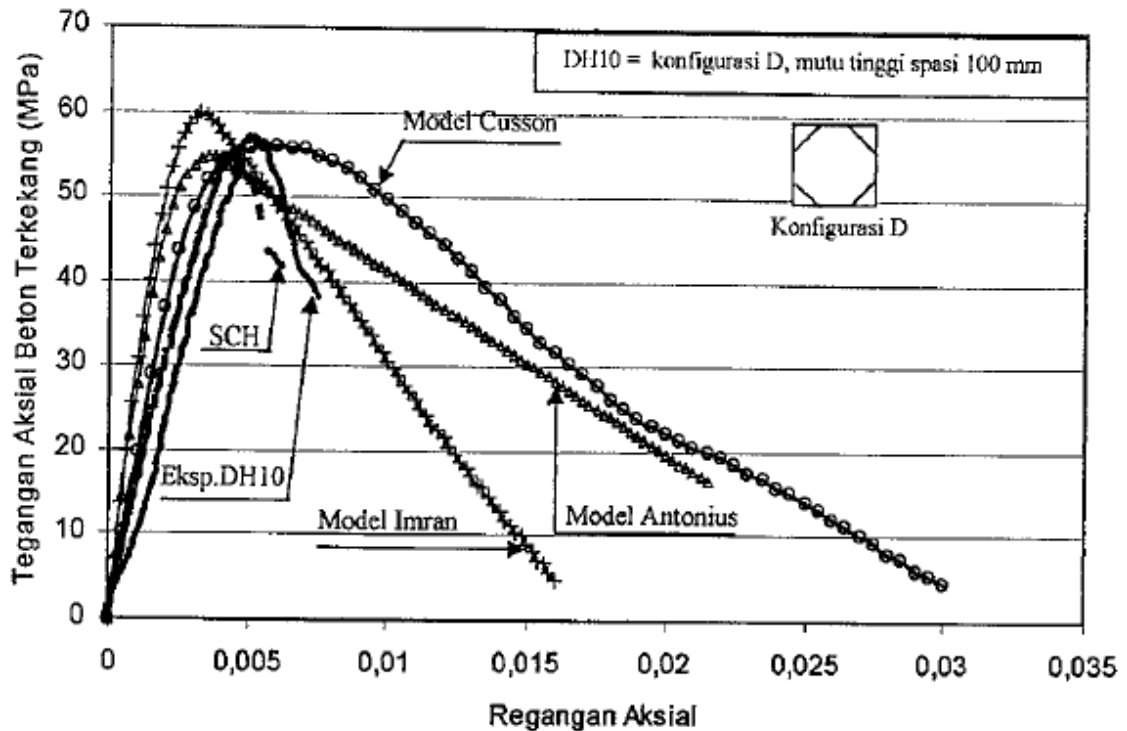
Gambar 23. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen AH10



Gambar 24. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen BH10



Gambar 25. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen CH10



Gambar 26. Kurva model-model tegangan-regangan beton terkekang dan hasil eksperimen spesimen DH10

Perbandingan antara model-model kekangan dan hasil eksperimen di atas menunjukkan bahwa untuk beton mutu tinggi ($f_c' = 66,60$ Mpa) tidak ada kurva model-model kekangan yang mendekati atau sama dengan kurva hasil eksperimen.

KESIMPULAN

Hasil studi eksperimental yang telah dilakukan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut: 1) Peningkatan kekuatan dan daktilitas beton mutu tinggi terkekang cenderung menurun apabila kuat tekan beton yang digunakan meningkat. 2) Perilaku kekuatan dan daktilitas kolom beton mutu tinggi terkekang sangat dipengaruhi oleh kuat tekan beton dan kuantitas tulangan lateral yang dipasang. 3) Tidak ada peningkatan kekuatan beton terkekang (K) untuk kolom beton mutu menengah dan mutu tinggi pada semua konfigurasi tulangan lateral yang dipasang, apabila spasi tulangan lateral adalah sama dengan lebar penampang inti kolom. Hasil ini

menunjukkan bahwa pemasangan spasi tulangan lateral yang lebar atau jarak sama dengan lebar inti kolom beton akan menjadi tidak efektif, atau dengan kata lain kolom beton menjadi tidak terkekang (unconfined). 4) Secara umum model Imran lebih dekat dengan hasil eksperimen beton mutu rendah ($f_c' < 40$ Mpa). Hasil ini tidak sejalan dengan batasan kuat tekan beton (f_c') yang dikeluarkan oleh Imran, karena model Imran diturunkan dari hasil pengujian kekangan aktif. 5) Prediksi perilaku kolom beton hasil eksperimen dengan model-model kekangan mutu rendah, menengah dan tinggi yang telah dikembangkan oleh beberapa peneliti berdeviasi cukup signifikan apabila diterapkan dengan hasil eksperimen, terutama dalam memodelkan perilaku setelah respon puncak.

SARAN

Studi eksperimental ini merupakan dasar bagi pengembangan pengetahuan perilaku struktur kolom beton mutu rendah, menengah dan tinggi dengan memperhatikan parameter agregat yang sesuai dengan kondisi di Indonesia. Saran yang peneliti dapat ajukan terkait dengan hasil studi ini antara lain: 1) perlunya diteliti ulang perilaku kolom beton mutu rendah, menengah, dan tinggi terhadap beban siklik baik untuk penampang bulat maupun penampang persegi, karena terkait dengan kondisi geografis Indonesia yang memiliki banyak daerah rawan gempa. 2) Perlunya dikembangkan penelitian terhadap kolom langsing, dimana efek stabilitas harus diperhatikan terhadap perilaku kolom. 3) Perlu dikembangkan lagi konfigurasi tulangan lateral lain, yang mungkin bisa meningkatkan kekuatan dan daktilitas kolom. 4) Perlu dipilih model-model kekangan yang sesuai dengan fungsinya untuk mengantisipasi pembebanan yang cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI – ASCE Committee, 1997, “High-Strength Concrete Columns; State of Art”, *ACI Structural Journal*, May-June 1997.
- Antonius , I. Imran, R. Suhud, dan D.R. Munaf, 1999, “Respon Kolom Beton Mutu Tinggi terhadap Beban Konsentris”, *Proceeding Konferensi Nasional Rekayasa Kegempaan*, ITB Bandung 4-5 Nopember 1999, pp. IV.19 – IV.29.
- Antonius, R., Suhud, P.A. Wahyudi, Suparyanto dan A. Krisdiyanto, 2002, “Peningkatan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Mutu Tinggi Terhadap Beban Tekan Konsentris”, *Lap. Penelitian Hibah Bersaing IX/I dan IX/2*

Perg. Tinggi, Kontrak NO. 075/P21PT/III/2001 dan No. 083/P21PT/DPPM/IX/2002, November 2002 Depdiknas.

CEB-FIP, 1990, *Structural Concrete*, Manual Textbook Vol. 1, FIB.

Collins, M.P, and D. Mitchell, 1991, *Prestressed Concrete Structures*, Prentice Hall Inc.

Cusson, D. and Paultre, 1995, "Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete", *J. of Structural Engineering ASCE*, V.121, No. 3, March, 468-477.

Departemen Pekerjaan Umum, 1992, *Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-1992.

Dilger, W.H., R. Koch and R. Kowalczyk, 1984, "Ductility of Plain and Confined Concrete Under Different Strain Rates", *ACI Journal*, Jan-Feb, 73-81.

Imran I., B. Budiono, D.R. Munaf, dan M. Mustopo, 1999, "On the Mechanical Behaviour of Concrete Structures and Material (Experimental and Analytical Studies)", *Final Report*, Urge Project, Chapter 2.

Moehle J.P., dan Cavanagh T., 1985, "Confinement Effectiveness of Crossties in RC", *J. of Struct. Eng, ASCE*, V.111, No. 10, October 1985, 2105-2120.

Scott, B.D., R. Park, and M.J.N. Priestly, 1982, "Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates", *ACI Journal*, January-February 1982, pp.13-27.

Watson, S., F.A. Zahn, and R. Park, 1992, "Confining Reinforcement for Concrete Columns", *J. of Structural Eng V.120*, No. 6, June 1994, pp. 1798-1823.