

PERILAKU SILINDER BETON BERONGGA YANG DIKEKANG DENGAN TULANGAN SPIRAL

Wayan Sudarsana

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

Abstrak : Peningkatan kekuatan desak beton oleh pengekangan dengan tulangan spiral telah banyak ditulis dalam literatur. Namun, penelitian mengenai penampang berongga dari beton yang dikekang dengan tulangan spiral belum banyak dilakukan. Bertolak dari hal tersebut maka perlu dilakukan suatu penelitian mengenai kenaikan kekuatan desak akibat pengekangan, dimanfaatkan untuk memperkecil luas penampang sehingga berat struktur berkurang tanpa mengurangi daya dukung, dan memperkecil volume beton yang digunakan sehingga dari segi ekonomi dapat memberikan sumbangan yang positif. Adanya rongga pada penampang akan memberikan pengaruh terhadap perilaku elemen struktur dalam menerima beban terutama beban desak. Perilaku elemen struktur dalam menerima beban dapat dikaji melalui diagram tegangan-regangan. Dengan membandingkan diagram tegangan-regangan baik yang masip maupun berongga dan silinder yang dikekang maupun tidak, akan dapat ditarik kesimpulan dari hasil perbandingan antara tegangan-regangan dari keempat type silinder beton tadi. Disamping itu, digunakan rumus prediksi bagi kurve tegangan-regangan untuk beton masip yang dikekang yang diusulkan oleh Shah, dkk. (1983) dan yang diusulkan oleh Mander, dkk. (1984). Dengan membandingkan kurva aktual hasil dari pengujian di laboratorium dengan kedua kurva prediksi akan dapat ditarik kesimpulan tentang perilaku beton yang berongga tersebut. Hasil penelitian menunjukkan silinder beton berongga yang dikekang dengan tulangan spiral lebih getas dibandingkan dengan silinder beton masip yang dikekang dengan tulangan spiral dan adanya rongga (lubang) pada penampang tidak mengurangi kekuatan desak beton.

Kata kunci : silinder beton berongga, tulangan spiral, kuat desak beton,

THE BEHAVIOR OF HOLLOW CONCRETE CYLINDER CONFINED BY SPIRAL REINFORCEMENT

Abstract: The increase in compressive strength of concrete cylinder confined by spiral reinforcement has been well written in literature. The study of hollow concrete cylinder confined by spiral reinforcement, however, is very limited. Based on this situation, the author has conducted a study in which the increases of compressive strength of hollow concrete cylinder confined by spiral reinforcement were utilized to reduce further the cross sectional area of the concrete that could be reduced without lowering its supporting capacity and the concrete become more economical. The existence of hollow inside the cross section may give significant influence on the behavior of the structural element in the concrete to the withstand compression. The behavior of structural element in withstanding load could be studied through their stress-strain diagrams. The analysis is carried out by comparing those stress-strain diagrams of concrete cylinder that are massive and hollowed, and when those cylinders are either confined or unconfined. Furthermore, the stress-strain behavior of the massive concrete cylinder confined by spiral reinforcement could be predicted by means of equation proposed by Shah et.al (1983) and by Mander et.al (1984). By comparing the results from the laboratories testing and those predicted results from theory, the final conclusion on this concrete behavior could be assessed. The result of this study revealed that hollowed concrete cylinder confined by spiral reinforcement generally more brittle when compared with massive concrete cylinder confined in similar manner. The existence of hollow, however, did not reduce the concrete compressive strength.

Keywords: hollow concrete cylinder, spiral reinforcement, concrete compressive strength

PENDAHULUAN

Latar Belakang dan Permasalahan

Penggunaan beton dalam struktur bangunan memang sangat dominan mengingat beton yang mudah dibentuk dan pemeliharaannya relatif murah. Beton bertulang merupakan kombinasi kekuatan dimana beton mempunyai kemampuan desak yang cukup besar tetapi kemampuan tarik yang lemah, maka tulangan baja dipasang untuk memenuhi kemampuan tarik. Hal lain yang menjadi kelemahan beton adalah berat persatuan volumenya yang besar sehingga penggunaannya dalam struktur harus didukung pondasi yang besar pula dan ini tentunya mahal dilihat dari segi biayanya. Untuk mengatasi hal itu maka dikembangkan struktur alternatif berupa beton berongga, dimana rongga di dalam struktur beton ini dibiarkan berupa rongga udara atau bisa juga diisi dengan material yang lebih murah dan ringan untuk menjaga agar bentuk struktur tetap utuh pada saat pengerjaannya. Beton berongga tentunya akan mengasihkan beton yang memiliki keunggulan dari segi berat persatuan panjangnya, namun perlu untuk dikaji mengenai kekuatan dan permasalahan apasaja yang ditimbulkan dengan adanya rongga dalam penampang beton tersebut. Penelitian terhadap perilaku beton berongga dengan menggunakan silinder beton berongga yang dikekang dengan tulangan spiral diharapkan dapat menjawab keraguan atas perilaku beton berongga, sehingga penggunaan penampang berongga didalam struktur beton bertulang tidak lagi menimbulkan keraguan.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai pengaruh rongga dalam penampang silinder beton yang dikekang dengan tulangan spiral baik terhadap kekuatan desak

maupun kekuatan daktilitasnya sehingga didapatkan suatu kurva tegangan-regangan untuk silinder beton berongga dengan tulangan spiral.

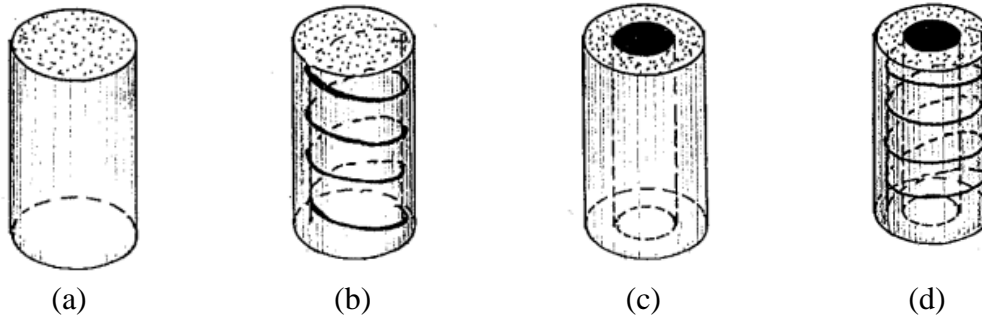
Lingkup pembahasan dalam penelitian ini adalah mencari tegangan dan regangan pada puncak pembebanan uniaksial dari silinder beton masip tanpa tulangan, silinder beton masip yang dikekang dengan tulangan spiral dan silinder berongga yang tak dikekang dan yang dikekang dengan tulangan spiral. Dengan didapatkan tegangan dan regangan pada pembebanan puncak dari masing-masing type silinder kemudian masing-masing harga tersebut dimasukkan kedalam persamaan kurva tegangan-regangan yang diusulkan oleh Shah dkk. (1983) dan Mander dkk. (1984). Dari kedua kurva itu akan dicari kurva mana yang paling mendekati kurva yang dihasilkan oleh data dari hasil pengujian di laboratorium dari benda uji silinder berongga yang dibuat.

MATERI DAN METODE

Penentuan Type Benda Uji

Dari beberapa jurnal penelitian yang ada kaitannya dengan penelitian ini memaparkan bahwa untuk menyelidiki perilaku beton berkaitan dengan tegangan dan regangan selalu mengacu pada benda uji standard yakni silinder beton masip tak bertulang dengan ukuran tinggi 30 cm (12") dan diameter 15 cm (6"). Dengan ukuran silinder tersebut dibuat empat type benda uji berkaitan dengan penelitian ini (Gambar 1), yaitu:

- Silinder Beton Masif yang tak dikekang (O)
- Silinder Beton Berongga yang tak dikekang (LO)
- Silinder Beton Masif yang dikekang (T)
- Silinder Beton Berongga yang dikekang (LT)



Gambar 1. Type Benda Uji Silinder Beton

Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan satu jenis campuran beton yang dicampurkan dalam satu bejana campur, sehingga diharapkan mutu beton yang dihasilkan sama agar tidak terjadi pengaruh perbedaan parameter berupa jenis campuran dan cara pencampuran yang dapat mengganggu data yang dihasilkan. Beberapa hal yang mempengaruhi kekuatan desak beton diantaranya adalah kualitas bahan, jumlah semen, faktor air semen, perbandingan campuran, gradasi agregat, cara memadam-

pur, cara memadamkannya, pemeliharaan beton selama proses mengeras, umur beton pada waktu uji dan cara pengujian. Kesemua faktor ini dibuat sama untuk keseluruhan buah benda uji yang dibuat.

Percobaan I

Untuk percobaan I, dalam sekali pencampuran bahan dibuat 16 buah silinder yang terbagi atas empat type dimana masing-masing type berjumlah 4 buah silinder. Berikut adalah tabel material yang digunakan dalam percobaan I :

Tabel. 1 Komposisi Material Percobaan I

Material	Volume	Satuan	Keterangan
Semen (PC)	29,330	Kg	Type I Gresik
Pasir	53,350	Kg	Pasir Sungai Unda-Bali
Kerikil (lolos saringan Ø20mm)	80,000	Kg	Kerikil sugai Meliling-Bali
Air	11,732	Kg	PDAM-Denpasar

Untuk spiral digunakan tulangan Ø5,3 mm dengan kekuatan leleh $f_y = 3700 \text{ kg/cm}^2$. Spiral dibuat dengan diameter lingkaran 14 cm dan jarak spiral 4,5 cm. Campuran dipadatkan dengan merojok menggunakan besi tulangan Ø16 mm dan panjang 60 cm serta dengan memukul-mukul dinding luar cetakan dengan palu agar kepadatannya optimum dan tidak terjadi karang beton pada permukaan silinder, kemudian permukaan silinder diratakan dengan cetok dan dibersihkan dari sisa campuran yang tidak terpakai. Cetakan beton yang telah terisi dan telah melalui proses pemadatan kemudian diletakkan di tempat teduh, dan cetakan dibuka setelah beton berumur 3 hari.

Untuk percobaan II, dibuat 22 buah silinder yang terdiri dari 4 silinder Type-O, 6 buah Type-T, 6 buah Type-LO dan 6 buah Type-LT. Ke-22 buah silinder tersebut menggunakan satu jenis campuran dengan komposisi campuran seperti pada Tabel 2.

Untuk spiral digunakan tulangan Ø4,5 mm dengan kekuatan leleh $f_y = 4900 \text{ kg/cm}^2$. Spiral dibuat dengan diameter luar lingkaran spiral = 14,5 cm dan jarak spiral 4 cm. Agar jarak spiral tidak berubah pada waktu pemadatan maka spiral diikat dengan kawat beton pada dua batang kawat baja Ø3,0 mm (dianggap tidak berfungsi sebagai tulangan) yang dipasang vertikal dalam lingkaran spiral. Tulangan spiral kemudian dimasukkan ke dalam ce-

Percobaan II

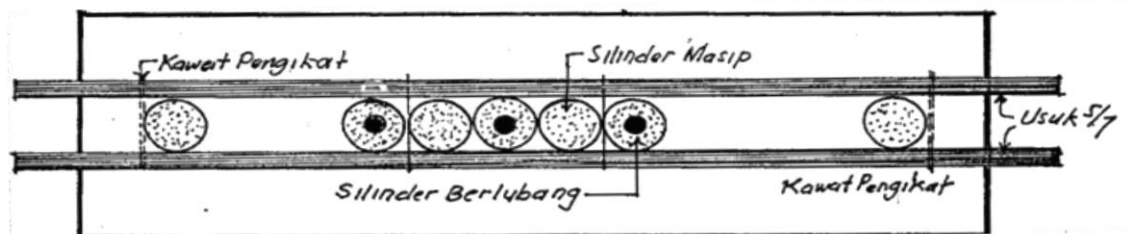
takan silinder baja dan diletakkan di atas meja getar dengan urutan sebagai berikut :

- Langkah pertama adalah 12 buah silinder yang di dalamnya telah terpasang tulangan diletakkan selang-seling antara yang berongga dengan yang masip, kemudian diisi campuran beton hingga penuh lalu digetarkan selama 1½ menit, setelah itu cetakan diangkat dari meja getar.

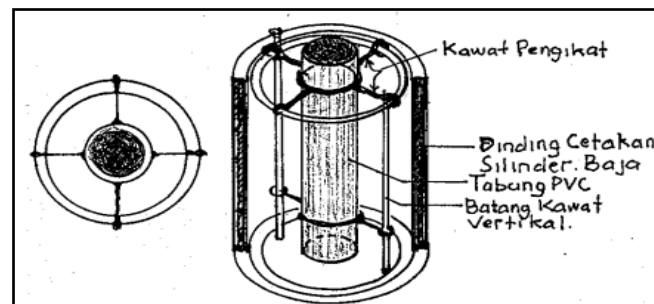
- Langkah kedua adalah 10 buah silinder yang tanpa dipasang tulangan didalamnya diletakkan selang-seling antara yang berongga dan yang masip kemudian digetarkan dengan waktu yang hampir sama dengan langkah pertama, kemudian cetakan diangkat dari meja getar.

Tabel. 2 Komposisi Material Percobaan II

Material	Volume	Satuan	Keterangan
Semen (PC)	425	Kg/m ³	Type I Gresik
Pasir	628,9	Kg/m ³	Pasir asal kali Brantas - Jatim
Kerikil (lolos saringan Ø12mm)	1026	Kg/m ³	Batu pecah asal Pasuruan
Air (f.a.s. 0,40)	170	Kg/m ³	PDAM-Surabaya



Gambar 2. Tampak atas penempatan silinder diatas meja getar.



Gambar 3. Penempatan pipa PVC dan pengikatnya di tengah-tengah lubang spiral.

Silinder yang seluruhnya berjumlah 22 buah tersebut kemudian diletakkan di tempat yang terlindung dari panas, hujan, getaran yang dapat mengganggu proses pengerasan beton. Setelah beton berumur tiga hari, beton lalu dikeluarkan dari cetakan dan langsung direndam dalam bak yang berisi air hingga seluruh permukaan silinder terendam air.

Pengujian dan pengumpulan data

Pengujian silinder beton untuk Percobaan I dilakukan dalam dua tahap yakni pada tahap pertama, silinder beton diuji

setelah berumur 14 hari dan tahap kedua, silinder beton diuji setelah berumur 28 hari. Sebelum pengujian dilakukan, silinder ditandai dengan pensil berupa lingkaran sekeliling permukaan kulit silinder untuk penempatan alat ukur compressometer. Jarak antara lingkaran atas dengan lingkaran bawah adalah 22 cm. Jarak masing-masing lingkaran ke permukaan penampang silinder dibuat sama yaitu 4 cm. Langkah selanjutnya adalah capping dengan menggunakan cairan belerang yang dituangkan pada alat peng-cap lalu dibiarkan dingin sesaat baru kemudian dilepaskan dari alat

peng-cap dan silinder sudah siap untuk di uji.

Alat uji yang digunakan adalah *Concrete Compression Tester* yang berkapasitas 200 ton. Pembacaan *dialgauge* dilakukan setiap kenaikan beban 4 ton dan dilanjutkan hingga beton hancur dan posisi *compressometer* sudah tidak pada tempatnya semula. Hal ini dapat diketahui dari pembacaan dial yang tidak wajar lagi perubahannya. Data dari hasil pengujian dicatat dalam buku tabel data-uji untuk selanjutnya diolah dengan rumusan hingga dapat dihasilkan grafik yang berupa kurva Tegangan-Regangan. Dari data beban didapatkan tegangan dengan membagi beban dengan luas penampang silinder beton yang menerima beban, sedangkan regangan didapat dari hasil pembacaan dial dibagi dengan jarak titik tumpu rangka atas dengan rangka bawah dari alat *compressometer*.

Perbandingan Tegangan-Regangan antara Hasil Pengujian dengan Teori

Teori Shah dkk (1983)

Kurva tegangan-regangan dari beton yang kejang didasarkan atas kekuatan desak silinder beton yang tak dikejang (*plain concrete*). Dalam pembahasan penelitian ini, ada beberapa rumus untuk kurva tegangan-regangan digunakan untuk membandingkan kurva yang didapatkan dari hasil pengujian dengan kurva teoritis yang dibangun oleh Shah dkk. (1983) yaitu :

$$Y = \frac{AX+(D-1)X^2}{1+(A-2)X+DX^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$Y = \frac{f}{f_o} ; X = \frac{\epsilon}{\epsilon_o}$$

$$f_o = f'_c + (1,15 + \frac{3,048}{f'_c})f_r \dots\dots\dots (2)$$

$$f_r = \frac{2A_s}{d} f_y \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{1,25d} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$\epsilon_o = 1,027 \cdot 10^{-7} f'_c + 0,0296 f_r / f'_c + 0,00195 \dots (4)$$

$$A = Eo \frac{\epsilon_o}{f_o} \dots\dots\dots (5)$$

$$D = 1,89 X 10^{-7} f'_c + 5,93 \left(\frac{f_r}{f'_c} \right)^{1/2} + 0,081 \dots (6)$$

$$E_c = 33(w)^{1,5} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (7)$$

- Dimana,
- f* dan ϵ adalah tegangan dan regangan pada setiap titik
- f_o* dan ϵ_o adalah tegangan dan regangan pada puncak
- A = suatu konstanta yang ditentukan oleh bagian yang menanjak
- D = suatu konstanta yang ditentukan oleh bagian miring yang menurun
- f_c* = Kokoh desak silinder beton
- f_r* = index pengekangan

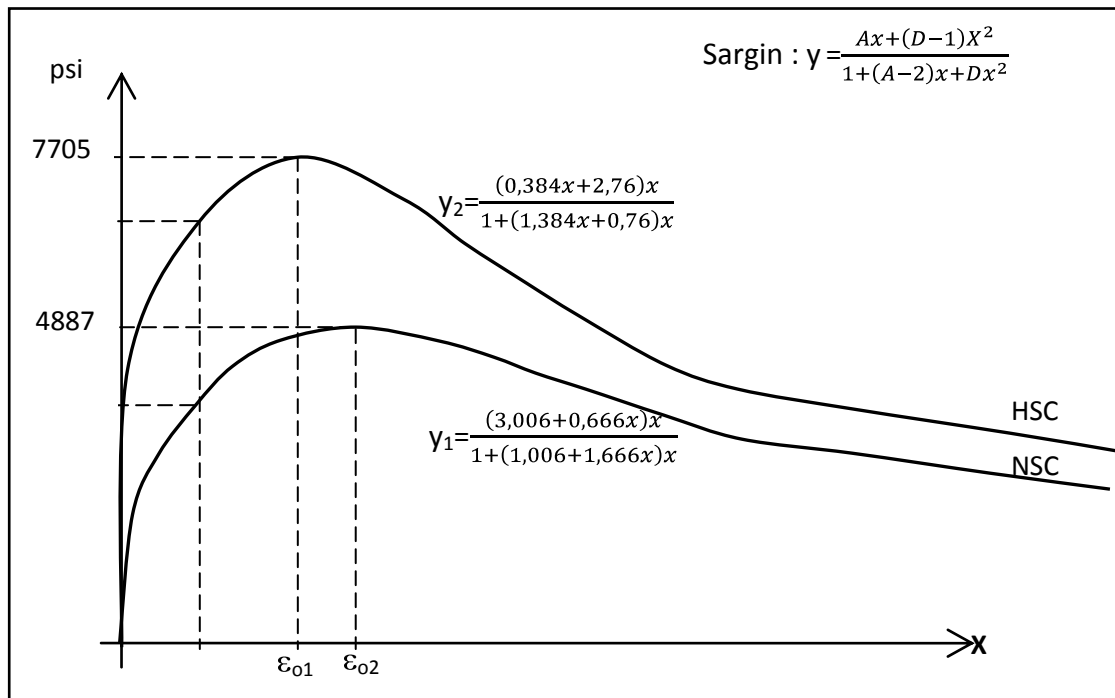
Untuk menggambarkan kurva Shah dkk. (1983), diperlukan data-data dari hasil percobaan yang terdiri dari :

- f_c* = kokoh desak silinder beton masip tanpa tulangan
- f_y* = kekuatan leleh tulangan spiral
- A_s* = luas penampang tulangan spiral
- S* = jarak antara lingkaran-lingkaran spiral
- w* = berat volume beton dalam lb/cu.ft

Dari percobaan I, didapatkan: *f_c* = 4350 psi; *f_y* = 56842 psi; *d* = 15 cm; *S* = 4,5 cm; *d_s* = 5,23 mm; sehingga dengan pers. (3) maka didapatkan harga *f_r* = 290 psi, dengan pers. (2) maka didapatkan harga *f_o* = 4886,7 psi, dengan Pers. (4) didapatkan $\epsilon_o = 4,37 \cdot 10^{-3}$, dengan Pers.(5) dan (6) didapkan harga A = 3,0063 dan D = 1,6634.

Dari percobaan II, didapatkan : *f_c* = 7250 psi; *f_y* = 71050 psi; *d* = 15 cm; *S* = 4 cm; *d_s* = 4,4 mm; *w* = 156,12 lb/cu.ft; sehingga dengan pers. (3) maka didapatkan harga *f_r*=290 psi, dengan pers. (2) maka didapatkan harga *f_o* = 7705,42 psi, dengan Pers. (4) didapatkan $\epsilon_o = 3,88 \cdot 10^{-3}$, dengan Pers.(5) dan (6) didapatkan harga A = 2,76 dan D = 1,3837.

Selanjutnya dengan harga-harga yang telah didapatkan dari Percobaan I dan Percobaan II maka grafik tegangan-regangan dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Tegangan-Regangan dari Silinder Beton yang Dikekang dalam Percobaan I dan II berdasarkan teori Shah, dkk. (1983)

Dari Gambar 4. terlihat bahwa kurva 1 memperlihatkan puncak yang lebih tumpul dibandingkan dengan kurva 2. Kurva 1 dihasilkan dari beton dengan kokoh desak 30 MPa yang tergolong beton dengan kekuatan normal (*Normal Strength Concrete*) sedangkan kurva 2 dihasilkan dari beton dengan kokoh desak 50 MPa yang tergolong beton kekuatan tinggi (*High Strength Concrete*). Beton NSC, estimasi peningkatan kekuatan beton oleh pengekanan adalah $\frac{(4886,7-4350)}{4350} = 12,34\%$ sedangkan beton HSC = $\frac{(7705,42-7250)}{7250} = 6,28\%$ sesuai dengan Pers. (2) dimana bagian sebelah kanan ditentukan oleh fr yang merupakan gaya pengekanan yang dilakukan oleh tulangan spiral dimana pada percobaan I dan II fr-nya hampir sama yakni 290 psi. Pers. (2) dapat disederhanakan dalam bentuk $f_o = f'c + k \cdot fr$ dimana $k = 1,15 + \frac{3048}{f'_c}$ sehingga k akan mengecil bila kokoh desak silinder membesar. Jika menginginkan peningkatan kekuatan desak yang cukup berarti bagi pengguna beton HSC harus meningkatkan harga fr dengan cara menggunakan kekuatan leleh baja yang lebih tinggi dan ja-

rak spiral S diperapat serta diameter tulangan spiral diperbesar.

Regangan puncak ϵ_o bagi beton NSC lebih besar dibandingkan dengan beton HSC dan ini sesuai dengan sifat material beton yaitu semakin tinggi kokoh desak beton semakin tegak bagian yang menanjak semakin kecil regangan puncaknya dan semakin getas material. Hal ini juga masih berpengaruh terhadap beton yang dikekang dikarenakan pengekanan baru mulai bekerja bila di dalam beton terjadi retak-retak halus serta perubahan volume kearah melintang mulai berperan. Hal ini terjadi pada regangan memanjang beton $\geq 0,002$.

Teori Mander dkk. (1984).

Mander dkk. (1984) telah mengusulkan suatu pendekatan tegangan-regangan gabungan untuk beton yang dikekang yang dapat digunakan untuk kedua bentuk tulangan transversal yang melingkar dan segi empat. Untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan sesuai dengan teori Mander dkk. (1984) yang didasarkan pada persamaan yang dianjurkan Propovics (1973) yaitu untuk suatu kecepatan rega-

ngan yang rendah (*quasi-static*) dan pembebanan monotonis, tegangan desak beton arah memanjang f_c diberikan oleh persamaan :

$$f_c = f'_{cc} \frac{x \cdot r}{r - 1 + x^r} \dots\dots\dots (8)$$

maka diperlukan data-data hasil percobaan yang terdiri dari:

f'_{co} = kekuatan desak beton yang tak dikekang

ϵ_{co} = regangan desak beton yang tak dikekang

S' = jarak bersih vertikal antar spiral

ds = diameter lingkaran spiral antara pusat ke pusat batang tulangan

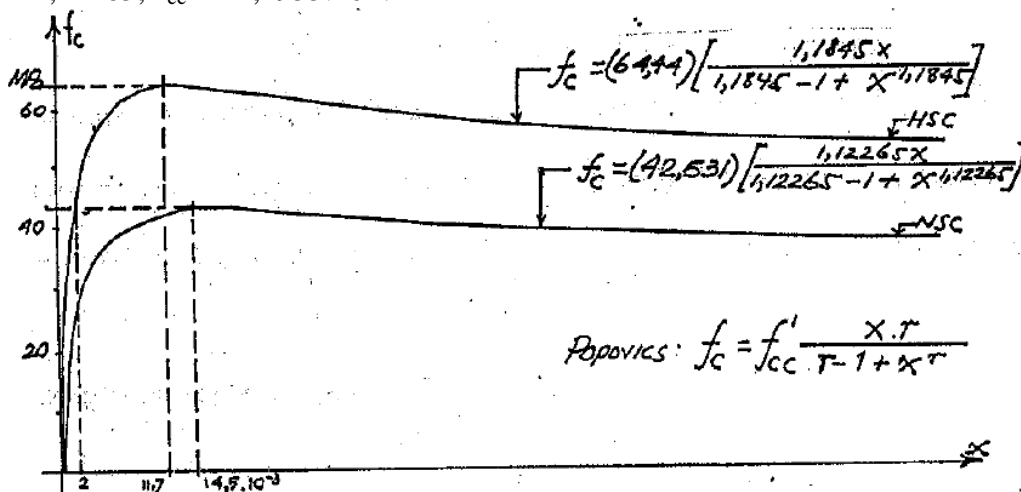
f_y = kekuatan leleh tulangan spiral

dsp = diameter tulangan spiral

Dari percobaan I didapatkan data-data sebagai berikut: $f'_{co} = 28,85$ MPa; $\epsilon_{co} = 4,3 \cdot 10^{-3}$; $S' = 39,77$ mm; $ds = 140$ mm; $f_y = 4000$ kg/cm²; $dsp = 5,23$ mm, kemudian didapatkan harga $f'_l = 23,423$ kg/cm²; $\rho_s = 0,01365$; $ke = 0,858$; $f'_{cc} = 42,531$ MPa; $E_c = 26,856 \cdot 10^3$; $E_{sec} = 2,934 \cdot 10^3$; $r = 1,12265$; $\epsilon_{cc} = 14,4955 \cdot 10^{-3}$.

Dari percobaan II didapatkan: $f'_{co} = 500$ kg/cm²; $\epsilon_{co} = 4,773 \cdot 10^{-3}$; $S' = 35,6$ mm; $ds = 4,4$ mm; $f_y = 4978$ kg/cm²; $dsp = 5,23$ mm, kemudian didapatkan harga $f'_l = 23,10$ kg/cm²; $\rho_s = 0,016$; $ke = 0,8755$; $f'_{cc} = 644,39$ kg/cm²; $E_c = 355,34$ MPa; $E_{sec} = 5,507 \cdot 10^3$; $r = 1,1845$; $\epsilon_{cc} = 11,7 \cdot 10^{-3}$.

Gambar 5 menunjukkan Kurva Tegangan-Regangan dari Silinder Beton yang dikekang hasil Percobaan I dan II berdasarkan teori Mander, dkk. (1984). Dari gambar terlihat puncak kurva 2 lebih tinggi dari kurva 1 karena perbedaan kuat desak yang nilainya 28,85 MPa untuk kurva 1 dan 50 MPa untuk kurva 2. Kenaikan tegangan desak akibat pengekekangan untuk kurva 1 = 47,42%, sedangkan kurva 2 = 28,98%, lebih rendah dibandingkan kenaikan pada kurva 1 padahal kurva 2 dihasilkan dari beton HSC sedangkan kurva 1 beton NSC. Hal ini dipahami karena peningkatan kuat desak akibat pengekekangan ditentukan oleh ke , A_c , ρ_c .



Gambar 5. Kurva Tegangan-Regangan dari Silinder Beton yang Dikekang dalam Percobaan I dan II berdasarkan teori Mander, dkk. (1984)

Perbandingan Tegangan-Regangan antara Silinder Beton Masip dengan Berongga

Kurva tegangan-regangan rata-rata dari silinder Masip dan Berongga yang dikekang dengan tulangan spiral hasil per-

cobaan I dan II masing-masing dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

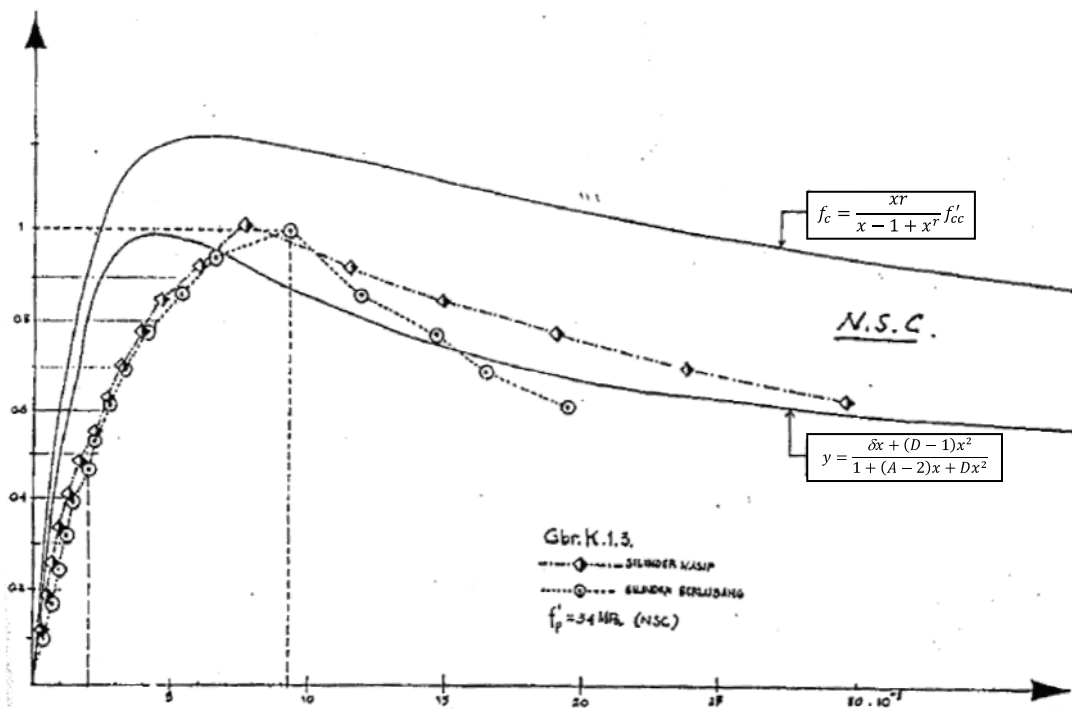
Dari Gambar 6 terlihat bahwa regangan pada tegangan puncak kurva dari beton masip hampir sama dengan beton berongga. Kurva silinder berongga dan masip pada awalnya berimpit dan bergerak ke atas semakin nyata terpisah namun dengan deviasi tidak begitu besar. Nilai

tegangan puncak kurva beton masip adalah 344 kg/cm^2 dengan regangan $7,6 \times 10^{-3}$, lebih tinggi dari beton berongga yang memiliki tegangan puncak 340 kg/cm^2 dengan regangan $9,25 \times 10^{-3}$. Setelah titik puncak, kedua kurva menurun, di mana kurva beton berongga turunnya lebih curam dibandingkan dengan beton masip dan grafik ini memotong grafik kurva prediksi teoritis dari Shah. Grafik kurva masip turun lebih landai dan sejajar dengan grafik Shah.

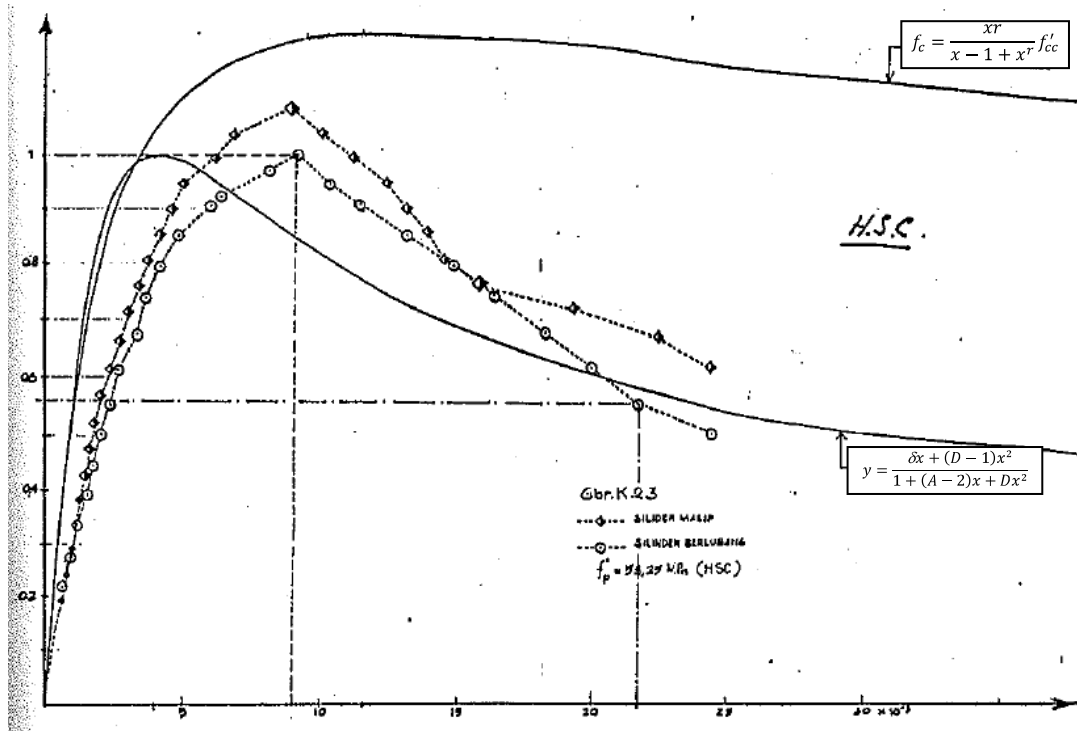
Untuk percobaan II, beton HSC, (Gambar 7) kurva silinder berongga dan masip pada awalnya berimpit sampai tegangan 175 kg/cm^2 , kemudian menanjak dengan terjadi pemisahan di mana kurva masip lebih tegak dibandingkan dengan kurva berongga namun deviasi tak begitu besar. Namun deviasi semakin membesar mulai dari tegangan 400 kg/cm^2 . Pada

tegangan 530 kg/cm^2 kurva beton berongga mencapai titik puncak dengan regangan $9,2 \times 10^{-3}$, sedangkan kurva beton masip masih menanjak terus menuju tegangan puncak 575 kg/cm^2 dengan regangan 9×10^{-3} . Setelah tegangan puncak, kurva beton masip turunnya lebih curam dibandingkan dengan beton berongga dan terhadap kurva Shah beton masip lebih curam.

Secara umum, kurva beton masip kurang smooth dibandingkan dengan kurva berongga terutama bagian yang menurun sesudah tegangan puncak, sedangkan untuk bagian kurva yang menanjak, kurva beton masip hampir identik dengan kurva beton berongga dengan selisih tegangan puncak 8,5% terhadap tegangan puncak kurva berongga.



Gambar 6. Kurva Tegangan-regangan rata-rata dari Silinder massif dan berongga yang dikekang dengan Spiral hasil percobaan I

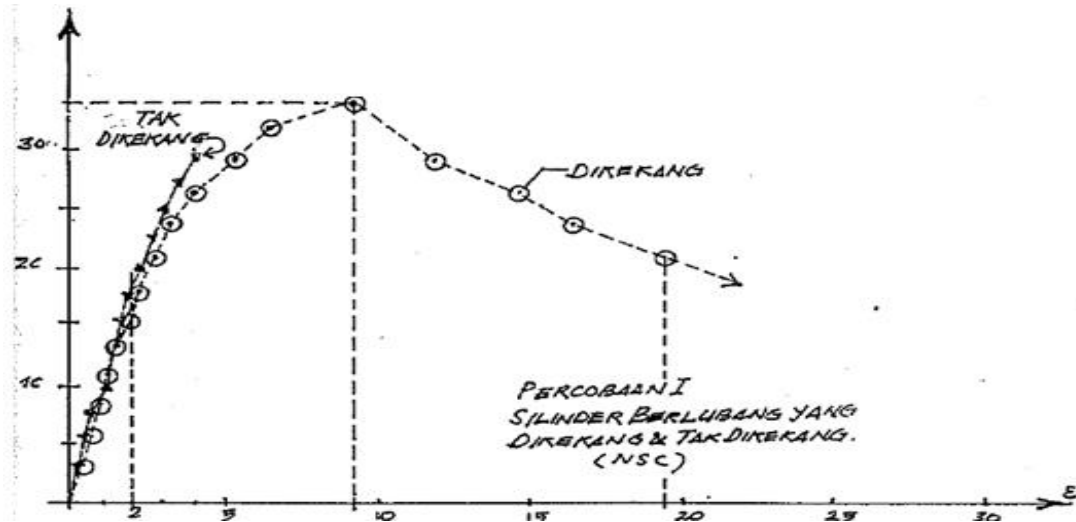


Gambar 7. Kurva Tegangan-regangan rata-rata dari Silinder Beton Berongga dan massif yang dikekang dengan Spiral hasil percobaan II

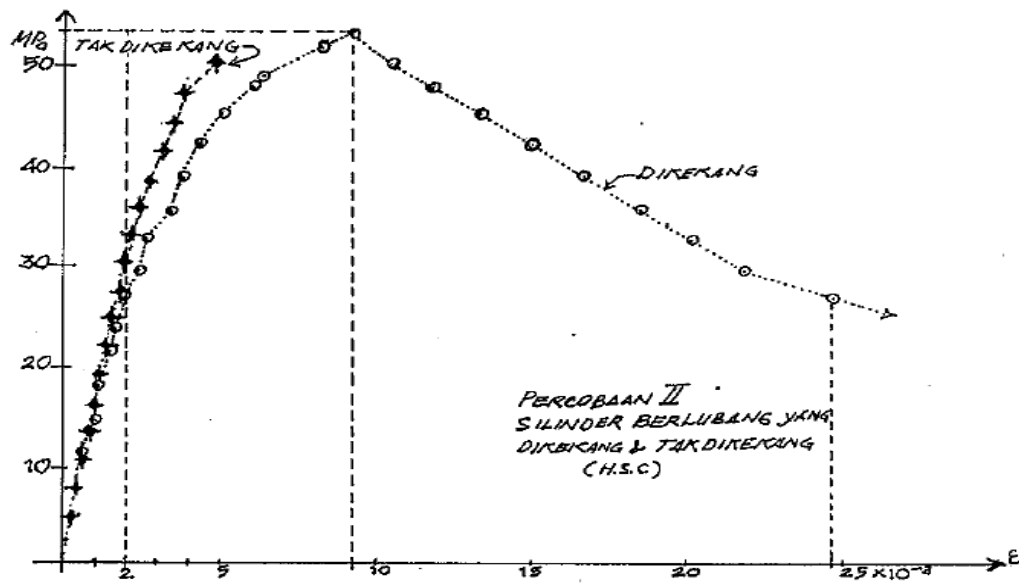
Perbandingan tegangan-regangan antara silinder beton berongga yang tak dikekang dengan dikekang

Pada Gambar 7 terlihat bahwa kurva beton tak dikekang dan yang dikekang (hasil percobaan I) berimpit pada tegangan 100-140 kg/cm², dan terpisah, menuju ke titik puncak masing-masing. Kurva tak dikekang menanjak lebih tegak dibandingkan dengan yang dikekang hal ini disebabkan oleh kepadatan beton pada silinder beton berongga yang dikekang dengan tulangan spiral lebih rendah dari yang tak dikekang terlihat dengan besarnya selisih tegangan pada regangan 0,002 adalah 6% terhadap tegangan puncak dari silinder yang tak dikekang, sedangkan selisih regangannya adalah 0,4x10⁻³. Peningkatan kekuatan desak oleh pengekangan dengan spiral hanya sebesar 15,75% sesuai dengan yang diutarakan oleh Ahmad dan Shah (1982) di samping itu juga disebabkan oleh fs yang kecil yaitu 1,365% akibat jarak spiral s=4,5 cm. Pada beton HSC, perilaku hampir sama dengan NSC, kurva berimpit pada tegangan 272

kg/cm². Kurva beton yang tak dikekang menanjak dengan konsisten menuju tegangan puncak 512 kg/cm² pada regangan 0,00432. Kurva beton yang dikekang dalam penanjakannya mengalami lonjakan regangan pada tegangan 325 kg/cm² dan regangan 0,00265 yang bukan merupakan indikasi mendekati titik puncak tetapi menunjukkan suatu interaksi aktio antara beton yang mulai retak mikro dengan tulangan spiral pengekang. Terlihat dari grafik bahwa pada tegangan 387,5 kg/cm² mulai mengikuti alur seperti semula dan pada tegangan 452,5 kg/cm² menunjukkan belokan yang mengindikasikan titik puncak tegangan sebesar 530 kg/cm² dan titik ini adalah 0,854fp. Pada beton NSC titik ini 0,77035 fp. Terlihat bahwa pada beton yang dikekang, sebelum menuju titik puncak tegangan, akan melalui titik softening pada 0,80 fp, sedangkan pada beton yang tak dikekang tidak ada hal seperti itu. Peningkatan tegangan desak beton pada percobaan II adalah 0,0950 kg/cm² (9,5%) lebih kecil daripada yang didapat dari percobaan I sebesar 15,75%.



Gambar 8. Kurva Tegangan-Regangan dari Silinder Beton Berongga yang Tak Dikekang dan Dikekang hasil Perc. I



Gambar 9. Kurva Tegangan-Regangan dari Silinder Beton Berongga yang Tak Dikekang dan Dikekang hasil Perc. II

SIMPULAN DAN SARAN

Dari percobaan I dan II diperoleh hasil penelitian terhadap silinder beton berongga yang dikekang dengan tulangan spiral dibawah pembebanan desak uniaksial dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Silinder beton berongga yang dikekang dengan tulangan spiral cenderung lebih getas dibandingkan dengan silinder masip yang dikekang dengan tulangan spiral,
- Penurunan kekuatan desak beton akibat adanya lubang pada penampang silinder tidak terlihat adanya
- Rasio ketebalan dinding terhadap diameter silinder adalah 0,30 lebih

besar dari rasio ketebalan dinding dari percobaan Bellamy sebesar 0,25 dimana dalam penelitian Ballamy juga menyatakan tidak ada pengurangan kekuatan desak beton oleh adanya lubang pada penampang silinder. Dari penelitian Mc.Henry dan Karni rasio ketebalan dinding terhadap diameter silinder adalah 0,143 yang menimbulkan penurunan kekuatan desak beton sebesar 20%.

- Kurva tegangan-regangan dari silinder beton berongga maupun masip yang dibuat dari beton normal (NSC) pada bagian yang menurun sesudah tegangan puncak lebih landai dibandingkan dengan yang dibuat dari beton mutu tinggi (HSC), hal ini disebabkan oleh ρ_{NSC} lebih besar daripada ρ_{HSC} sekitar 0,30%.
- Silinder berongga yang dikekang lebih daktail dibandingkan dengan silinder berongga yang tak dikekang.
- Kurva silinder berongga yang dikekang mempunyai "titik leleh" sebelum menuju titik tegangan puncak, sedangkan pada silinder berongga yang tak dikekang "titik-leleh" itu tidak ada.
- Adanya peningkatan kekuatan desak beton oleh adanya pengekangan dengan tulangan spiral, walaupun peningkatan itu hanya berkisar antara 8-15%.
- Pola Keruntuhan silinder berongga yang dikekang sama seperti pola keruntuhan silinder masip yang dikekang.

Saran-saran

- Perlu diteliti lebih lanjut pengaruh tulangan memanjang terhadap kekuatan desak silinder berongga, karena dengan adanya tulangan memanjang justru menimbulkan masalah terhadap tekuk dari tulangan memanjang yang dapat merusak permukaan sebelah dalam dari silinder.
- Perlu adanya penelitian untuk mendapatkan harga batas dari rasio ketebalan dinding terhadap diameter penampang yang pada harga berapa

mulai ditimbulkannya pengurangan terhadap kekuatan desak beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S.H. and Shah, S.P. 1982. Stress and Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement, *ACI Journal*, Nov-Des pp 484-490.
- Darwin, D., and Pecknold, D.A. 1977. Nonliner Biaxial Stress-Strain Law for Concrete. *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Apr. pp 229-241.
- Mander, J.B., Priestley, J.N., and Park, R., 1983. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Aug., pp 1827-1849.
- Mander, J.B., Priestley, J.N., and Park, R. 1983. Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Aug., pp 1827-1849.
- Shah, S.P., Fafitis, A., and Arnold, R. 1982. Cyclic Loading of Spirally Reinforced Concrete. *J.Struct. Div.ASCE*, pp 1695-1710
- Shah, S.P., and Winter, G. 1966. Inelastic Behaviour and Fracture of Concrete. *J of the ACI*, Sept., pp 926-930.
- Sheikh, S.A., and Uzumeri, S.M. 1980. Strength and Ductility of Tied Concrete Column. *J.Struct.Div., ASCE*, May, pp 1079-1102.
- Sheikh, S.A., and Toklucu, M.T. 1993. Reinforced Concrete Columns Confined by Cilcular Spirals and Hoops. *ACI Struct.J.*, Sept-Oct., pp 542-553.
- Smith, G.N. 1971. *An Introduction to Matrix and Finite Element Methods in Civil Engineering*. Applied Science Publisher Ltd., London
- Timoshenko, S.P., and Goodier, J.N. 1970. *Theory of Elasticity*, Mc.Graw-Hill, Inc, Third Edition, London.