Kekuatan Desak Kolom Komposit Baja Silinder Dengan Beton Serat Terhadap Pembebanan Eksentris

Sulistia a*

[a*] Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No. 1, Mentul Cepu, Jawa Tengah Telp. (0296) 422322

Abstrak

Dalam penelitian ini kolom yang dimodelkan adalah kolom paling bawah, yang bagian bawahnya terjepit dan ujung yang lain bebas, dengan menambahkan serat pada campuran adukan beton. Penambahan serat sebanyak 1%-3% dari berat semen. Serat yang digunakan berupa serat kawat ikat dengan diameter 1 mm, panjang 60 mm dan ke dua ujungnya dibengkokkan. Sedangkan baja yang digunakan dalam penelitian ini berdiameter 112,903 mm, tebal 1,450 mm dan panjangnya 700 mm.

Hasil penelitian adalah pengujian kuat desak kolom komposit terhadap beban eksentris dan beban sentris yaitu pada benda uji tanpa kandungan serat menghasilkan momen maksimum rata-rata dan beban maksimum rata-rata (14720,56250. 10^3 Nmm dan 532,50.10^3 N), untuk kandungan serat 1% (15535,625.10^3 Nmm dan 557,5.10^3 N), untuk kandungan serat 2% (15647,675.10^3 Nmm dan 625.10^3 N), untuk kandungan serat 3% (18235,00.10^3 Nmm dan 650,00.10^3 N). Ternyata hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan tambahan serat pada adukan beton mengakibatkan peningkatan kapasitas kuat desak baik terhadap pembebanan sentris maupun pembebanan eksentris.

Kata Kunci : Beton, Kandungan Serat, Kolom Komposit, Kekuatan Desak

1. Pendahuluan

Bangunan mempunyai peranan penting dalam kehidupan masyarakat. Sebagian besar dari hidup manusia berada di sekitar atau di dalam bangunan, seperti perumahan, perkantoran, pabrik-pabrik, rumah sakit dan jembatan. Pengaruh yang demikian luas itu mengakibatkan sektor pembangunan memegang peranan penting dalam meningkatkan kesejahteraan dan perekonomian negara.

Beton secara luas telah dipakai sebagai bahan bangunan. Beton merupakan salah satu unsur struktur yang sangat penting, hampir sebagian besar bangunan menggunakan beton sebagai struktur utama. Adapun keunggulan struktur beton secara umum dapat diuraikan sebagai berikut ini.

1. harganya relatif murah karena bahan-bahannya mudah didapat,
2. lebih mudah pengerjaannya karena dilakukan dilokasi proyek atau lokasi pekerjaan,
3. sangat fleksibel untuk dipakai pada berbagai macam struktur bangunan, baik untuk bangunan yang sederhana yang bertingkat rendah ataupun untuk bangunan tinggi yang bertingkat banyak,
4. beton mampu untuk menahan aus dan kebakaran,
5. salah satu keunggulan yang penting adalah beton mempunyai kuat tekan yang tinggi mengakibatkan jika dikombinasikan dengan baja (yang kuat tariknya tinggi) dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat.

Kolom dari suatu bangunan merupakan salah satu elemen dari struktur rangka yang mengalami desak dan lentur serta pemakaiannya selalu dihubungkan dengan elemen struktur yang lain yaitu balok sebagai satu kesatuan, baik sebagai portal ruang maupun portal bidang. Kolom berfungsi menahan gaya-gaya yang bekerja pada kolom itu sendiri dan menyalurkan gaya-gaya yang bekerja pada balok ke pondasi.

Kolom dapat berbagai macam, berdasarkan bentuk penampang dan bahan (material) penyusunnya dapat terdiri atas : Kolom Silinder, Kolom Persegi, Kolom Beton Bertulang Biasa, Kolom Baja, Kolom Komposit dengan Beton Biasa, dan Kolom Komposit dengan Beton Serat.

Akibat beban-beban yang bekerja pada struktur portal, kolom umumnya mengalami pembebanan eksentris (yaitu beban yang tidak bekerja pada pusat berat penampang melintang). Pembebanan eksentris tersebut mengakibatkan momen yang menimbulkan terjadinya tegangan tarik, dengan demikian penampang kolom akan menjadi daerah tekan dan tarik.

Dalam kenyataan salah satu kekurangan beton adalah lemah terhadap tarik, hal ini juga menjadi unsur kelemahan kolom beton konvensional. Kolom komposit merupakan alternatif yang sering dipilih untuk menutupi kelemahan tersebut. Penambahan serat pada adukan campuran beton merupakan alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi kelemahan kolom dari unsur betonnya.

Dengan alasan tersebut, maka perlu untuk meneliti pengaruh penambahan serat terhadap

kekuatan desak kolom komposit baja silinder dengan beton serat pada pembebanan eksentris .

2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan desak dan lentur kolom komposit baja silinder dengan beton serat terhadap pembebanan eksentris serta untuk mengetahui perilaku kolom komposit tersebut

3. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan untuk mengetahui :

1. kekuatan desak kolom komposit dengan beton serat terhadap beban eksentris,
2. perilaku kolom komposit dengan beton serat terhadap beban eksentris,
3. prosentase penambahan serat (*fiber*) dalam beton terhadap peningkatan kekuatan kolom komposit tersebut

4. Batasan Masalah

Batasan ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah. Adapun batasan-batasan masalah adalah :

1. diameter baja silinder yang dipakai berdiameter 112,903 mm dengan tebal 1,45 mm, panjang 700 mm,
2. mutu beton f'c = 21 MPa,
3. desain campuran beton dengan menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*),
4. serat yang dipergunakan berupa serat kawat baja dengan diameter 1 mm, panjang 60 mm dengan ujung-ujung yang dibengkokkan,
5. berat serat kawat baja yang ditambahkan sebesar 1%-3% dari berat semen,
6. uji desak dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari.

5. Tinjauan Pustaka

ACI 544.1R , 1982, melaporkan bahwa hasil penelitian kuat lelah beton fiber sangat bervariasi. Hal ini disebabkan oleh beragamnya pengkondisian beban, kriteria kegagalan, proporsi adukan, tipe fiber, dan persentase volume fiber. Hal ini cukup meyakinkan berbagai macam tipe fiber, ialah bahwa peningkatan kekuatan dengan peningkatan persentase fibernya. Dengan menggunakan volume fiber (vf) = 2%-3% dari berat semen, l/d = 70-90, kuat lenturnya meningkat 10%-30%, seperti dilaporkan Batson dkk, 1972 dan Romualdi, 1965 (ACI 544-82).

Penelitian oleh Jean Francois Trottier, Dudley R., Morgan dan Dean Ferguson (1995), penggunaan serat yang ujungnya dibengkokkan atau yang biasa disebut dengan serat berkait menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibanding dengan serat lurus.

Suhendro (1991), penambahan serat kawat baja pada campuran beton akan memberikan penambahan daktilitas yang terbesar diikuti dengan serat kawat bendrat dan kawat biasa. Volume serat yang digunakan 0,7% dari berat semen.

Suhendro (1991), memperkenalkan konsep beton fiber di Indonesia. Dengan menggunakan bahan lokal yang mudah didapat dan relatif murah, berupa potongan kawat bendrat (yang biasanya digunakan untuk mengikat baja tulangan) dan diameternya sekitar 1 mm, panjang sekitar 60 mm.

G. Spadea and F. Bencardino (1997) Penambahan serat pada adukan beton dengan volume fiber (Vf) = 1% - 2% dari berat semen, akan meningkatkan kuat lentur sebesar 20% - 25%.

Heru Anggoro Adi dkk, 1998, menggunakan serat 0% dan 2% dari berat semen, berhasil meningkatkan kuat desak kolom komposit baja silinder dengan beton serat. Serat yang digunakan adalah kawat bendrat dengan diameternya sekitar 1 mm, panjang 60 mm dan kedua ujungnya dibengkokkan.

5.1. Beton Serat

Beton serat adalah beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan sejumlah serat (ACI Commuitee 544). Inti dari beton serat adalah penambahan serat yang disebar merata untuk mencegah retak-retak kecil pada beton dan meningkatkan kemampuan kuat desak beton.Dengan mengasumsikan bahwa bahan saling melekat sempurna dan letak serat segaris (G. Spadea and F. Bencardino 662), maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma_{cr} = \sigma_{mu} . V_m + \sigma_f . V_f \quad \text{.....(1)}$$

dengan σ_{cr} = kuat komposit saat retak pertama,
σ_f = tegangan tarik serat saat beton hancur,
σ_{mu} = kuat tarik beton,
V_f = persentase volume serat.
V_m = persentase volume beton

Apabila lekatan serat dengan pasta semen lebih kecil dari kuat tarik serat, maka kuat lentur beton serat ditentukan oleh kuat lekat serat. Pada keadaan tersebut kuat tarik serat diganti dengan persamaan berikut ini.

$$\pm_f = 2¥ \frac{I_f}{d_f} \quad \text{..... ....(2)}$$

dengan γ = kuat lekat,
I_f = panjang serat,
d_f = diameter serat.

Penambahan bahan serat dapat menyebabkan penurunan kelecakan secara cepat sejalan dengan pertambahan konsentrasi serat dan aspek rasio serat (nilai banding panjang dan diameter). Batas maksimal aspek rasio serat yang masih memungkinkan pengadukan secara mudah yaitu $I_f/d_f < 100$.

Agar pencampuran serat dapat tersebar secara marata dapat dilakukan dengan memperkecil ukuran agragat. ACI Commite 544 menyarankan agregat maksimum yang digunakan pada beton berserat yaitu ¾ "(19 mm).

5.2. Beton Komposit

Beton komposit adalah suatu struktur yang terdiri dari baja dan beton yang keduanya bekerja bersama-sama untuk menahan beban (AISC). Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk kolom komposit (AISC LRFD) adalah sebagai berikut :

1. luas dari baja (As) > 4 % dari luas seluruhnya,
2. kekuatan beton berkisar antara 3 < f'c < 8 ksi,
3. nilai kekuatan baja fy < 55 ksi,
4. tebal pipa

untuk : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0,2$

maka : $\frac{p_U}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{uy}}{\Phi_b M_{ny}} + \frac{M_{ux}}{\Phi_b M_{nx}}\right) \leq 1,0 .....(3)$

Untuk menentukan beban maksimum digunakan rumus berikut ini.

$\varnothing_c P_n = 0,85 Asfcr ….....(4)$

Dengan :

f'cr $= e^{-0,419\lambda c}$ f my untuk $\lambda c < 1,5$

f'cr $= 0,877/\lambda c^2$ f my untuk $\lambda c > 1,5$

As = luas baja

fmy = fy + 0,85 f'c Ac/As

Em = E + 0,4 Ec Ac/As

Ec $= 145^{1,5}$ f'c

As $= \pi/4 (D^2 - d_1^2)$

Ac $= \pi/4\ d_1^2$

untuk : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0,2$

maka : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1,0 .....(5)$

dengan :

P_u = beban berfaktor,

M_{ux} = momen terfaktor terhadap sumbu x,

M_{uy} = momen terfaktor terhadap sumbu y,

$\varnothing_c$ = faktor resistensi untuk kolom,

$\varnothing_b$ = faktor resistensi untuk balok,

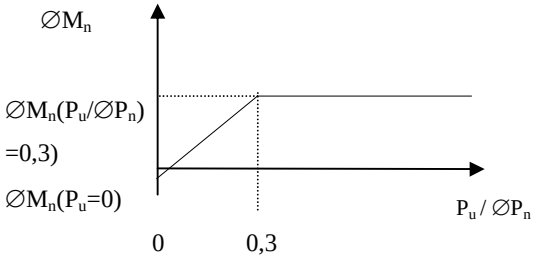
untuk : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0,3$

Maka harus dicari dengan interpolasi (lihat gambar 1) dari :

$P_u = 0$ dan $P_u/\varnothing P_n = 0,3$

$P_u = 0 \longrightarrow M_n = Z \cdot fy$

$$M_n = Zf_y + 1/3(h_2 - 2C_r)A_r f_{yr} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{h_w f_y}{1,7 f'_c h_1}\right)A_w f_y .(6)$$



Gambar 1. Diagram interpolasi antara $P_u/\varnothing P_n$ dan $\varnothing M_n$

5.3. Perencanaan Campuran Adukan Beton

Perhitungan rencana adukan beton yang digunakan adalah perencanaan menurut *American Concrete Institute* (ACI). Karena ACI menyarankan suatu cara perencanaan campuran yang memperhatikan nilai ekonomis, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Urutan langkah perencanaan dengan cara *American Concrete Institute* (ACI) adalah sebagai berikut ini.

Menghitung kuat desak rata-rata berdasarkan kuat desak yang disyaratkan dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya (lihat tabel 2.1). Kuat desak rata-rata dihitung dari kuat desak yang disyaratkan ditambah margin.

f'cr = f'c + m

m = k . sd (sd diambil dari tabel 2.1)

Tabel 1. Nilai deviasi standar (kg/cm)

Volume pekerjaan (m^3)		Mutu pelaksanaan		
		Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	45 < s < 55	55 < s <	65 < s < 85
Sedang	1000 –	35 < s < 45	45 < s <	55 < s < 75
Besar	> 3000	35 < s < 35	35 < s <	< 65

Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat tabel 2) dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan lihat tabel 2.3). Dari dua hasil tersebut dipilih yang paling rendah.

Tabel 2. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder pada umur 28 hari

Faktor Air Semen	Perkiraan Kuat Tekan (MPa)

0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 3. Faktor air semen maksimum

Kondisi	FAS
• Beton didalam ruangan bangunan	
a. keadaan keliling non korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
• Beton diluar ruangan bangunan	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
• Beton yang masuk kedalam tanah	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sifat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
• Beton yang kontinyu berhubungan dengan air	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

Menentukan nilai slump dan ukuran maksimum agregat berdasarkan jenis strukturnya (lihat tabel 4 dan 5).

Tabel 4. Nilai slump (cm)

Pemakaian beton	Maks	Min
• Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,50	5,00
• Pondasi telapak tidak ber tulang, kaison dan struktur di bawah tanah	9,00	2,50
• Plat, balok, kolom dan dinding	15,00	7.50
• Pengerasan jalan	7,50	5,00
• Pembetonan masal	7,50	2,50

Tabel 5. Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum (mm)	Balok/kolom	Plat
62,50	12,50	20,00
150,00	40,00	40,00
300	40,00	80,00
750	80,00	80,00

Menentukan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump (lihat tabel 6).

Tabel 6. Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat (liter)

Slump (mm)	Ukuran maksimum agregat (mm)		
	10	20	40
25 – 50	206	182	162
75 – 100	226	203	177
150 – 175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per satuan volume beton berdasarkan ukuran maksimum agregat halusnya (lihat tabel 7).

Tabel 7. Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus halus pasir

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus halus butir pasir			
	2,40	2.60	2,80	3,00
10	0.46	0.44	0.42	0.40
20	0.65	0.63	0.61	0.59
40	0.76	0.74	0.72	0.70
80	0.84	0.82	0.80	0.78
150	0.90	0.88	0.86	0.84

Menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah volume air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan (dari tabel 7), dengan cara hitungan volume absolut dapat ditulis sebagai berikut :

Volume agregat halus = 1- (Va + Vb + Vs + Vu…..(7)

dengan :
Va = Volume air,
Vb = Volume batu pecah,
Vs = Volume semen,
Vu = Volume udara

5.4. Kuat Desak Beton

Kuat desak beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban dibagi dengan luasan permukaan beton yang menerima beban tersebut. Untuk mendapatkan kuat desak beton tersebut dari masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut ini.

Fc = Kuat desak x kb…….....(8)

m = k . sd…….....(9)

f'c = f'cr – m ……..……...…….....(10)

Keterangan :
P = beban maksimum (KN)dengan (1 kN: 101,9 kg)
A = luas permukan (cm^2)
fc = kuat desak beton menurut ACI (MPa)
kb = konversi bentuk dari kubus ke silinder (0,83)

f'cr= kuat desak beton rata-rata (MPa)
N = jumlah benda uji
Sd = standar deviasi (MPa)
m = nilai margin (MPa)
k = konstanta (1,64)
f'c = kuat desak karakteristik beton (MPa)

5.5. Tekuk Pada Kolom

Akibat pembebanan eksentris (beban tidak tepat pada titik berat penampang) pada kolom, mengakibatkan momen lentur disamping gaya aksial. Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadi tekuk.

Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*). Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. Dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek (runtuh karena material) ke kolom panjang (runtuh karena tekuk) yang terdefinisi dengan menggunakan perbandingan panjang efektif (**kl_u**) dengan jari-jari girasi (**r**). Tingi **l_u** adalah panjang tak tertumpu (*unsupport length*) kolom, dan **k** adalah faktor yang tergantung pada kondisi ujung kolom, dan kondisi adalah penahan deformasi lateral atau tidak (untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.2 di halaman berikut ini). Sebagai contoh, adalah kolom yang tidak ada penahan lateral (*unbraced column*), apabila angka **kl_u/r** á **22**, maka kolom tersebut diklasifikasikan sebagai kolom pendek sesuai dengan kriteria ACI dan SNI. Apabila tidak demikian, kolom tersebut diklasifikasikan sebagai kolom panjang atau lazim disebut kolom langsing. Angka **kl_u/r** disebut sebagai angka kelangsingan kolom.

6. Pelaksanaan Penelitian

6.1. Persiapan Bahan

Sebelum penelitian dilakukan terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan sebagai berikut ini .

1. Pemeriksaan semen dengan pengamatan visual, butiran semen berwarna abu-abu, keadaan halus dan tidak menggumpal.
2. Pemeriksaan air secara visual memenuhi syarat karena air yang dipakai berasal dari aliran PDAM, sehingga secara kualitas telah memenuhi syarat untuk air adukan beton.
3. Persiapan dan pemeriksaan agregat, meliputi pemilihan butiran, pencucian, penjemuran dan pemisahan butiran dengan menggunakan ayakan.

6.2. Pembuatan Benda Uji

Apabila nilai slump dari adukan tanpa serat telah mencapai nilai yang ditetapkan, maka dengan menggunakan bantuan corong supaya mempermudah memasukan beton ke dalam cetakan, adukan beton dimasukan ke pipa besi sebanyak 16 buah. Penuangan adukan dilakukan sedikit demi sedikit dan ditusuk–tusuk dengan tongkat baja dan juga diketuk–ketuk sisi luarnya perlahan–lahan. Begitu pula untuk adukan yang berserat, langkahnya sama dengan adukan tanpa serat.

6.3. Rawatan Benda Uji

Tujuan dari rawatan ini yaitu untuk mencegah terjadinya pelepasan/penguapan air yang berlebihan, karena akan menyebabkan hambatan dalam proses hidrasi. Rawatan untuk benda uji komposit dilakukan setelah sehari dicetak kemudian diselimuti dengan karung yang telah dibasahi. Untuk rawatan benda uji pipa baja yaitu disimpan di lokasi yang jauh dengan air agar tidak terjadi korosi. Setelah selesai rawatan, semua benda uji diukur panjang, diameter dan beratnya

6.4. Pengujian Benda Uji

Pengujian kuat desak dilakukan pada benda uji kolom komposit dengan serat dan tanpa serat. Langkah pengujian kuat desak adalah sebagai berikut:

1. benda uji diletakkan pada mesin uji tepat pada titik yang telah dipersiapkan sesuai eksentrisitasnya (lihat gambar 4.1 s/d 4.4 di belakang),
2. beban ditambahkan secara bertahap sampai jarum penunjuk pada mesin uji berhenti,
3. pembebanan maksimum dicatat sesuai dengan skala penunjuk pada alat uji.

7. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

7.1. Hasil Penelitian

Benda uji yang digunakan untuk mengetahui kuat desak karakteristik menurut ACI adalah silinder dengan ukuran diameter 150 mm, tinggi 300 mm, sedangkan benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder berdiameter 112,903 mm, tebal 1,45 mm dan tinggi 700 mm.

7.1.1. Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Silinder Standar Tipe campuran beton dengan kandungan serat 0 %.

Tabel 8. Kuat desak beton silinder standar dengan kandungan serat 0 %

Kode benda uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm^2)	Beban (KN)	Fc (N/mm^2)	(fc-fcr)	$(fc-fcr)^2$
$0S_A$	149,90	300,80	17647,905	580	32,8651	0,9414	0,8862
$0S_B$	149,75	300,05	17612,603	695	39,4604	7,5367	56,80i8
$0S_C$	150,25	301,30	17730,413	490	27,6361	-4,2876	18,3835

$0S_D$	150,75	299,10	17848,615	495	27,7332	-,4,1905	17,5603
Slump = 15 cm	Total	127,6948		93,6318			
S_A	148,75	300,00	17612,602	715	40,5959	5,6433	31,8468
$1S_B$	149,85	300,45	17366,133	630	35,7221	0,7695	0,5921
$1S_C$	150,30	299,85	17742,215	565	31,8450	-3,1076	9,6572
$1S_D$	150,10	299,95	17695,028	560	31,6473	-3,3053	10,9250
Slump = 14,5 cm				Total	139,8103		53,0211

F'cr = 139,8103/4
= 34,9526 N/mm^2
m = 1,64 x 4,2040 = 6,8946
f'c = 34,9526 – 6,8946 = 28,0580 N/mm^2

7.1.2. Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Silinder Standar Tipe campuran beton dengan kandungan serat 2%

Tabel 9.Kuat desak beton silinder standar dengan kandungan serat 2 %

Kode benda uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm²)	Beban (KN)	fc (N/mm²)	(fc-fcr)	(fc-fcr)²
$2S_A$	150,60	300,15	17813,113	640	35,9286	-1,2006	1,4414
$2S_B$	150,30	300,50	17742,215	740	41,7084	4,5793	20,9700
$2S_C$	151,50	301,45	18026,655	660	36,6124	-0,5168	0,2671
$2S_D$	150,55	298,10	17801,287	640	34,2672	-2,8620	8,1910
Slump = 13 cm				Total	148,5166		30,8695

7.1.3. Hasil Pengujian Kuat Desak Kolom Komposit dengan kandungan serat 0 %

Tabel 10. Kuat desak kolom komposit dengan kandungan serat 0 %

Kode benda Uji	Eksentrisitas (mm)	Beban Eksentris (N)	Momen (N.mm)	Beban Sentris (N)
$0K_A$	87,95	150.10^3	$13192,50.10^3$	430.10^3
$0K_B$	86,95	175.10^3	$15216,25.10^3$	580.10^3
$0K_C$	87,45	160.10^3	$13992,00.10^3$	540.10^3
$0K_D$	86,75	190.10^3	$16482,50.10^3$	580.10^3
Total			$58883,25.10^3$	2130.10^3

7.1.4. Hasil Pengujian Kuat desak kolom komposit dengan kandungan serat 1%

Tabel 11.Kuat desak kolom komposit dengan kandungan serat 1 %

Kode benda Uji	Eksentrisitas (mm)	Beban Eksentris (N)	Momen (Nmm)	Beban Sentris (N.mm)
$1K_A$	87,65	180.10^3	$15777,00.10^3$	570.10^3
$1K_B$	87,45	180.10^3	$15741,00.10^3$	540.10^3
$1K_C$	88,15	160.10^3	$14104,00.10^3$	560.10^3
$1K_D$	86,95	190.10^3	$16520,50.10^3$	560.10^3
Total			$62142,50.10^3$	2230.10^3

7.1.5. Hasil Pengujian Kuat Desak Kolom Komposit dengan kandungan serat 2 %

Tabel 12. Kuat desak kolom komposit dengan kandungan serat 2 %

Kode benda Uji	Eksentrisitas (mm)	Beban Eksentris (N)	Momen (N.mm)	Beban Sentris (N)
$2K_A$	87,15	200.10^3	$17430,00.10^3$	660.10^3
$2K_B$	88,25	155.10^3	$13678,75.10^3$	640.10^3
$2K_C$	87,45	180.10^3	$15741,00.10^3$	600.10^3
$2K_D$	87,45	180.10^3	$15742,00.10^3$	600.10^3
Total			$62590,70.10^3$	2500.10^3

7.1.6. Hasil Pengujian Kuat desak kolom komposit dengan kandungan serat 3 %

Tabel 13. Kuat desak kolom komposit dengan kandungan serat 3 %

Kode benda Uji	Eksentrisitas (mm)	Beban Eksentries (N)	Momen (N.mm)	Beban Sentris (N)
$3K_A$	85,55	250.10^3	$21387,50.10^3$	640.10^3
$3K_B$	87,75	190.10^3	$16672,50.10^3$	620.10^3
$3K_C$	86,95	200.10^3	$17390,00.10^3$	680.10^3
$3K_D$	87,45	200.10^3	$17490,00.10^3$	660.10^3
Total			$72940,00.10^3$	2600.10^3

Kekuatan rata-rata kolom komposit dengan kandungan serat 3 %: Momen maksimal rata-rata yang mampu ditahan adalah :

Mmax rata-rata = $72940,002500.10^3.10^3$/ 4
= $18235,00.10^3$ Nmm

Beban sentris maksimal rata-rata yang masih mampu ditahan setelah mencapai momen maksimal :

Pmax rata-rata = 2600.10^3 /4 = 650.10^3 N

7.2. Pembahasan

7.2.1. Workabilitas Adukan Beton

Sesuai dengan perbandingan yang telah direncanakan dengan variasi serat tertentu, dilakukan pencampuran adukan kedalam mesin pencampur untuk setiap variasi, pengukuran workabilitas adukan diuji dan dicatat yaitu nilai slump seperti yang tercantum didalam Tabel 14. di bawah ini.

Secara keseluruhan nilai slump untuk semua variasi memenuhi slump rencana seperti yang direkomendasikan dalam metode ACI yaitu nilai slump untuk kolom antara 7,5 cm – 15,0 cm. Nilai slump yang berbeda-beda disebabkan karena pengaruh penambahan serat pada adukan beton. Pada adukan beton dengan kandungan serat lebih besar akan menghasilkan nilai slump lebih rendah. Dengan demikian workabilitas adukan beton tersebut semakin rendah pula.

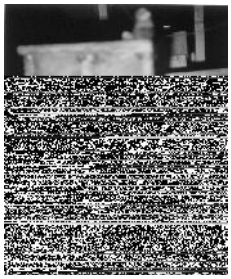
Tabel 14. Nilai slump untuk setiap variasi

Kandungan Serat	Slump
0 %	15,0 cm
1 %	14,5 cm
2 %	13,0 cm
3 %	12,5 cm

7.2.2. Tipologi Kerusakan Benda Uji Setelah Pengujian

Benda uji kolom setelah diberi beban maka akan mengalami kerusakan, sehingga tipologi kerusakannya dapat diuraikan sebagai berikut ini.

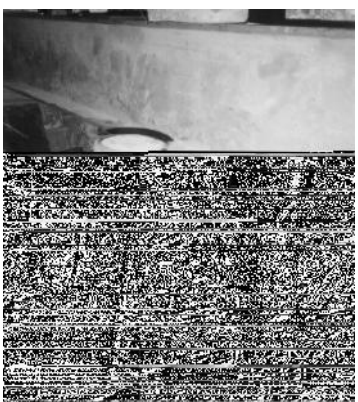
1. Benda uji mengalami kerusakan pada bagian atas yaitu berupa pembengkokan saat dibebani dengan pembebanan eksentris. Kerusakan kolom ini disebabkan karena kehilangan stabilitas lateral yaitu terjadi tekuk yang cukup besar ($Kl_u/r = 42,5155) > 22.$)
2. Tekuk terjadi pada daerah 100 mm s/d 150 mm di bagian ujung atas kolom, hal ini disebabkan karena terjadinya konsentrasi tegangan di daerah tersebut.
3. Setelah pembebanan eksentris mencapai beban maksimum dan kemudian benda uji tersebut diuji lagi dengan pembebanan sentris, terjadi penggelembungan pada bagian badan dan ujung atas kolom, hal ini menandakan bahwa kolom tidak lagi mampu menahan beban yang diberikan. Penggelembungan ini terjadi di semua sisi (sekeliling badan) kolom, hal ini akibat dari pembebanan sentris.



Gambar 2. Keadaan benda uji setelah pengujian dengan pembebanan eksentris.



Gambar 3. Keadaan benda uji sebelum pengujian



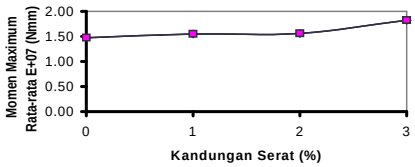
Gambar 4. Keadaan benda uji setelah di uji dengan pembebanan sentris

7.2.3. Kuat Desak

7.2.3.1. Kuat Desak Silinder Beton Standar

Penambahan serat pada adukan beton menyebabkan peningkatan kuat desak karakteristik beton. Pada waktu pembebanan akan timbul regangan yang mengakibatkan pembengkaan dan retak-retak pada beton. Hal ini diakibatkan karena beton silinder standar yang dibebani sentris tidak lagi mampu menahan tegangan yang terjadi, sehingga didalam beton terjadi gaya tarik sampai terjadi keruntuhan beton. Serat yang ditambahkan pada adukan akan membantu menahan gaya tarik yang timbul, sehingga akan meningkatkan kuat desaknya. Semakin banyak kandungan serat semakin tinggi kuat desaknya.

Pada beton tanpa serat mempunyai nilai f'c = 22,7617 MPa, kemudian beton dengan kandungan serat 1 % terjadi peningkatan kuat desak sebesar 5,2963 MPa (23,2685 %), untuk beton dengan kandungan serat 2 % terjadi peningkatan pula sebesar 9,1067 MPa (40,0089 %), sedangkan untuk beton dengan kandungan serat 3 % terjadi peningkatan kuat desak sebesar



14,2970 MPa (62,8117 %).

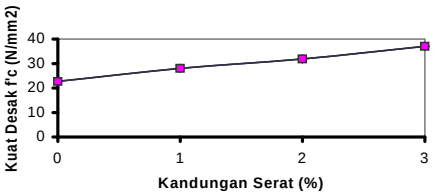
Gambar 5. Grafik hubungan kandungan serat dengan kuat desak karakteristik beton.

7.2.3.2. Kuat Desak Kolom Komposit

7.2.3.2.1. Kuat Desak Kolom Komposit Terhadap Beban Eksentris

Penambahan serat yang disebar merata pada adukan beton mengakibatkan peningkatan kapasitas dukung momen kolom komposit. Momen mengakibatkan timbulnya tegangan, dengan demikian penampang kolom akan menjadi daerah tarik dan tekan. Serat yang ditambahkan pada adukan akan membantu beton pada bagian tarik menahan gaya tarik yang timbul, sehingga kekuatan beton menahan gaya tarik tersebut akan meningkat Hal ini sangat berpengaruh terhadap

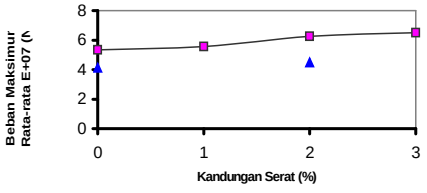
peningkatan kekuatan kolom komposit secara keseluruhan. Semakin banyak kandungan serat, maka akan menghasilkan tahanan momen yang lebih tinggi. Pada benda uji tanpa kandungan serat menghasilkan momen maksimum rata-rata sebesar 14720,5625.10^3 Nmm, kemudian dengan kandungan serat 1 % terjadi peningkatan momen maksimum rata-rata sebesar 815,0625.10^3 Nmm (4,6230 %), selanjutnya dengan kandungan serat 2 % terjadi peningkatan momen maksimum rata-rata sebesar 927,1125.10^3 Nmm (6,3002 %), sedangkan dengan kandungan serat 3 % terjadi peningkatan momen maksimum rata-rata sebesar 3514,4375.10^3 Nmm (23,6038 %).



Gambar 6. Grafik hubungan kandungan serat dengan kapasitas momen

7.2.3.2.2. Kuat Desak Kolom Komposit Terhadap Beban Sentris

Seperti halnya pada pembebanan eksentris, yaitu dengan menambahkan serat pada adukan beton akan terjadi pula peningkatan beban sentris maksimal yang mampu ditahan kolom komposit. Akibat pembebanan sentris, maka terjadi penggelembungan pada bagian badan dan ujung atas kolom pada saat pembebanan mencapai maksimum. Hal ini disebabkan karena pada saat pembebanan kolom akan menerima tegangan dan akan menimbulkan regangan. Akibat regangan yang terjadi akan timbul gaya tarik pada beton. Serat yang ditambahkan akan membantu menahan gaya tarik yang timbul akibat regangan tersebut, sehingga kekuatan beton akan meningkat. Hal ini berpengaruh pada kolom komposit secara keseluruhan. Semakin banyak kandungan serat, maka akan semakin tinggi kuat desaknya. Pada benda uji tanpa kandungan serat menghasilkan beban sentris maksimum rata-rata yang masih mampu ditahan sebesar 532,50.10^3 N, kemudian dengan kandungan serat 1% terjadi peningkatan beban maksimum rata-rata sebesar 25,00.10^3 N (8,3781 %), selanjutnya dengan kandungan serat 2% terjadi peningkatan beban maksimum rata-rata sebesar 92,6030.10^3 N (17,3709 %), sedangkan dengan kandungan serat 3% terjadi peningkatan beban maksimum sebesar 117,50.10^3 N (22,0658 %).



Gambar 7. Grafik hubungan kandungan serat dengan beban sentris maksimum

8. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan serat pada adukan beton menyebabkan peningkatan kuat desak karakteristik beton. Pada beton tanpa serat mempunyai nilai f'c = 22,7617 MPa, kemudian beton dengan kandungan serat 1% terjadi peningkatan kuat desak sebesar 5,2963 MPa (23,2685 %), untuk beton dengan kandungan serat 2% terjadi peningkatan sebesar 9,1067 MPa (40,0089 %), sedangkan untuk beton dengan kandungan serat 3 % terjadi peningkatan sebesar 14,2970 MPa (62,8117 %).
2. Penambahan serat pada adukan beton menyebabkan peningkatan kekuatan kolom komposit terhadap pembebanan eksentris. Pada benda uji tanpa serat mampu mendukung momen sebesar 14720,5625.10^3 Nmm, kemudian dengan kandungan serat 1% terjadi peningkatan kuat desak sebesar 815,0625.10^3 Nmm (4,6230 %), dengan kandungan serat 2% terjadi peningkatan sebesar 927,1125.10^3 Nmm (6,3002 %), sedangkan dengan kandungan serat 3 % terjadi peningkatan sebesar 3514,4375.10^3 Nmm (23,6038 %).
3. Kolom uji mampu menahan beban sentris yang cukup besar dan terus meningkat kapasitasnya seiring dengan penambahan kandungan serat. Pada benda uji dengan kandungan serat 1% terjadi peningkatan beban maksimum rata-rata sebesar 25,00.10^3 N (8,3781 %), selanjutnya dengan kandungan serat 2% terjadi peningkatan beban maksimum rata-rata sebesar 92,6030.10^3 N (17,3709 %), sedangkan dengan kandungan serat 3% terjadi peningkatan beban maksimum sebesar 117,50.10^3 N (22,0658 %)
4. Tidak terjadi kerusakan pada bagian badan dan bawah kolom akibat pembebanan eksentris, tetapi terjadi *buckling* berupa tekuk dan Penggelembungan (*buckling pada semua sisinya*) terjadi pada bagian badan dan atau ujung atas.

9. Saran

Saran-saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian, pembahasan dan kesimpulan adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menempatkan alat strain gauge pada badan

kolom, dengan variasi serat yang lebih banyak, sehingga didapat data optimum serat yang perlu ditambahkan.

2. Perlu penelitian lebih jauh mengenai pengaruh penambahan serat terhadap tegangan dan regangan yang terjadi pada beton, serta untuk membandingkan pengaruh berbagai model dan macam serat yang mungkin ditambahkan pada beton.
3. Perlu ditambahkan sistem perkuatan pada daerah ujung atas kolom, sehingga kolom akan semakin kuat. Hal ini dikarenakan konsentrasi tegangan terjadi di daerah tersebut sehingga berakibat terjadinya buckling.

10. Daftar Pustaka

Aisc, 1989, *Manual Of Steel Construction Allowable Stress Design*, Ninth Edition, Aisc.

G. Spadea And F. Bencardinoi, 1997, *Behavior Reinforced Concrete Beam Under Cyclic Loading*, Jurnal Of Enggineering, Vol.123, No.5, Pp.660-668.

Ganjanan M. Sabinis, Ph.D., P.E., 1979, *Hand Book Of Composite Construction Enggineering*, Van Nostrsnd Reinhold Company, New York.

Roosseno, R., 1954, *Beton Tulang*, Cetakan Ketiga, Pt. Pembangunan, Jakarta.

Suhendro, B., 1991, *Pengaruh Fiber Kawat Pada Sifat-Sifat Beton*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian Universitas Gajahmada, Yogyakarta.

Tjokrodimulyo, K., 1992, *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada.

Heywood, J.B., 1989, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Muchnik, D.A., 2002, Water Improving Burning, *The New Technology of Water Fuel Emulsion*, Fuel Technologies LTD, page 1÷ 5.

Muwen, C., Jiacong, C., 2006, *Optimal Design of Thermal-Energy Stores For Boiler Plants*, Applied Energy.

Oil Chem, 2003, *New Chemistry, Alkhylbenzene Sulfon*ate, Oil Chem Technology.

- Jurnal: Pengarang, Tahun, Judul Jurnal, nama Jurnal, Jilid (volume, nomor terbit), dan nomor halaman.
  Contoh pustaka dari jurnal :

Frolove, S.M., 2001, Control of Single Droplet Combustion and Emision, *18th ICDERS Short Abstract*.

Nensho, T., Hanno, H., Keisoku, K., and Jikken, K., 2005, Phase-Sparation inside a Burning Droplet of Oil in Water Emulsion, *Original Paper, Combustion Society of Japan-Journal*, Vol. 106.

Rizvi, S.Q.A., 1999, Additive For Automotive Fuel and Lubricants, *Journal of Society of Tribology and Lubrication Engineers*, April, page 33 ÷ 39.