

KAPASITAS LENTUR KOLOM BETON BERTULANGAN BAMBU WULUNG DENGAN TAKIKAN SEJAJAR

Fachri Ferdiansyah Putra¹⁾, Agus Setyabudi²⁾, Sunarmasto³⁾,

¹⁾ Mahasiswa, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2,3)} Pengajar, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126 Telp: 0271-634524.

Email : ferdian4syah@gmail.com

Abstract

Residential development constantly grows due to the rapid population growth, triggering the prices increase of building materials, especially steel reinforcement bar. Especially in rural area, in many region the steel reinforcement bar becomes scarce, its price escalate and creates burden to low income society hoping to build their concrete houses. To solve the problem, bamboo slats can be attractive alternative for substituting steel reinforcement.

Experimental investigation was employed in this study. The specimens were square concrete columns with dimension of 150 × 150 mm and net height of 1100 mm. It comprised of three types, namely: column reinforced with bamboo Wulung, column reinforced with steel, and column without reinforcement. The combination of axial-flexural loading tests have been performed by maintaining the axial load eccentricity of 200 mm from the axis of the column.

Based on the test results, the average value of the maximum axial load of the column reinforced-by bamboo Wulung with parallel notches is 14,250 N, meanwhile the average value of same specimen type is 3,473,250 N.mm. The average value of the maximum axial load of the steel reinforcement column is 36,500 N, while the average value of the maximum flexural capacity is 8,132,600 N.mm. The average value of the maximum axial load of unreinforced column is 10,750 N, and it average maximum flexural capacity is 2,157,955 N.mm. Based on these results concrete columns reinforced with bamboo Wulung with parallel notches may increase the flexural capacity of the column about 37.87% compared to unreinforced concrete columns.

Keywords: wulung bamboo, column, axial, flexural, reinforced, parallel notches

Abstrak

Semakin pesatnya pembangunan pemukiman akibat penduduk yang terus-menerus bertambah, memicu harga-harga bahan bangunan terutama baja tulangan beton semakin naik dan mengalami kelangkaan, sehingga sangat memberatkan masyarakat kalangan menengah ke bawah. Mengatasi hal tersebut, maka dicari bahan alternatif baru sebagai pengganti tulangan baja pada beton diantaranya adalah menggunakan tulangan dari bambu.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium. Benda uji berupa kolom beton dengan ukuran 150 x 150 mm dan tinggi bersih 1100 mm. Benda uji dibuat 3 jenis, yaitu kolom beton tulangan bambu wulung dengan takikan sejajar, kolom beton tulangan baja, dan kolom beton tanpa tulangan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kapasitas lentur kolom menggunakan alat loading frame dengan eksentrisitas beban aksial 200 mm dari sumbu kolom.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, nilai rerata beban aksial maksimum kolom tulangan bambu wulung takikan sejajar sebesar 14.250 N. Nilai rerata kapasitas lentur maksimum kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar sebesar 3.473.250 N.mm. Nilai rerata beban aksial maksimum kolom bertulangan baja sebesar 36.500 N. Nilai rerata kapasitas lentur maksimum kolom bertulangan baja sebesar 8.132.600 N.mm. Nilai rerata beban aksial maksimum kolom tanpa tulangan sebesar 10.750 N. Nilai rerata kapasitas lentur maksimum kolom tanpa tulangan sebesar 2.157.955 N.mm. Berdasarkan nilai kapasitas lentur maksimum, kolom beton bertulangan bambu wulung takikan sejajar dapat meningkatkan kapasitas lentur kolom sekitar 37,87 % bila dibandingkan dengan kolom beton tanpa tulangan.

Kata kunci: Kolom, bambu, kapasitas lentur, tulangan

PENDAHULUAN

Pesatnya pembangunan memicu harga-harga bahan bangunan terutama baja tulangan beton semakin naik dan mengalami kelangkaan karena semakin menurunnya ketersediaan bahan bijih besi di alam. Bahan bijih besi merupakan sumber daya alam yang terbatas dan tidak dapat diperbaharui, sehingga lama kelamaan bahan tersebut dapat habis. Mengatasi permasalahan tersebut, maka dicarilah bahan alternatif baru sebagai pengganti tulangan baja pada beton. Alternatif lain yang sedang diteliti oleh beberapa ahli dan memungkinkan untuk dapat digunakan sebagai pengganti tulangan baja pada beton diantaranya adalah menggunakan tulangan dari bambu. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, menyatakan bahwa bambu dapat digunakan sebagai tulangan beton pengganti baja karena mempunyai kekuatan tarik tinggi yang mendekati kekuatan baja. Seperti yang dikemukakan oleh Morisco (2008), bahwa pemilihan bambu sebagai bahan bangunan dapat didasarkan seperti pada harga yang relatif rendah, pertumbuhan cepat, mudah ditanam, mudah dikerjakan, serta keunggulan spesifik yaitu serat bambu memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi. Berdasarkan pada penelitian

tersebut dapat dipertimbangkan bahwa bambu dapat digunakan sebagai bahan baku pada suatu struktur bangunan. Penelitian ini akan mengkaji kapasitas lentur kolom bertulangan bambu wulung dengan takikan sejajar sebagai alternatif pengganti tulangan baja pada bangunan sederhana.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang bambu

Penelitian oleh Morisco (2008) memperlihatkan bahwa kekuatan tarik bambu dapat mencapai sekitar dua kali kekuatan tarik baja tulangan, sebagai pembanding dipakai baja tulangan beton dengan tegangan luluh sekitar 240 MPa yang mewakili baja yang banyak terdapat di pasaran. Bambu Wulung (*Gigantochloa verticillata*) adalah bambu dengan jarak ruas panjang seperti pada bambu tali/apus, akan tetapi tebalnya sampai 20 mm dan tidak liat (getas), bergaris kuning muda. Garis tengah bambu ini 40 – 100 mm, panjang batang 7 – 18 m (Frick, 2004). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Morisco (1999) kekuatan tarik rerata dalam keadaan kering oven bambu wulung adalah 1660 kg/cm² (tanpa buku) dan 1470 kg/cm² (dengan buku).

Sifat fisika dan mekanika bambu

Kadar air bambu

Kadar air bambu adalah banyaknya air dalam sepotong bambu yang dinyatakan sebagai persentase dari berat kering tanurnya.

$$Ka = \frac{W_b - W_a}{W_a} 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Ket: Ka = Kadar air bambu (%), Wb = Berat benda uji sebelum di oven (gram)
Wa = Berat benda uji kering oven (gram)

Berat jenis bambu dan kerapatan bambu

Berat jenis adalah nilai perbandingan antara kerapatan suatu benda dengan kerapatan benda standar pada volume yang sama. Kerapatan adalah perbandingan massa suatu benda dengan volumenya.

$$BJ = \frac{W_a}{G_b} \dots\dots\dots(2)$$

Ket: BJ = Berat jenis bambu Wa = Berat benda uji kering oven (gram)
Gb = Berat air yang volumenya sama dengan volume benda uji kering oven (gram)

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \dots\dots\dots(3)$$

Ket: ρ_w = Kerapatan bambu pada kadar air w (gr/cm³) V_w = Volume bambu pada kadar air w (cm³)
m_w = Massa bambu pada kadar air w (gr)

Kuat geser sejajar serat bambu

Kuat geser sejajar serat merupakan kemampuan benda untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung menekan bagian-bagian benda secara tidak bersama-sama atau dalam arah yang berbeda. Pengujian kuat geser sejajar serat bambu berdasarkan ISO/DIS 3347.

$$\tau_{//} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Ket: τ_{//} = Kuat geser sejajar serat (MPa) P_{maks} = Gaya geser maksimal bambu (N)
A = tebal x panjang = luas bidang yang tergeser (mm²)

Kuat tekan sejajar serat

Kuat tekan sejajar serat merupakan kemampuan benda untuk menahan gaya luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian benda secara bersama-sama. Pengujian kuat tekan sejajar serat bambu berdasarkan prosedur ISO 3132-1975.

$$\sigma_{tk//} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Ket: σ_{tk//} = Kuat tekan sejajar serat (MPa) P_{maks} = Gaya tekan maksimal bambu (N)
A = tebal x lebar = luas bidang yang tertekan (mm²)

Kuat tarik sejajar serat

Kuat tarik merupakan ketahanan suatu benda menahan gaya luar yang berupa gaya tarik yang bekerja pada benda tersebut. Pengujian kuat tarik sejajar serat bambu berdasarkan prosedur ISO 3346-1975.

$$\sigma_{tr//} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(6)$$

Ket: $\sigma_{tr//}$ = Kuat tarik sejajar serat (MPa) P_{maks} = Gaya tarik maksimal bambu (N)
 A = tebal x lebar = luas bidang yang tertarik (mm²)

Modulus of Rupture (MOR) dan Modulus of Elasticity (MOE)

MOE merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan lentur tanpa terjadi perubahan bentuk yang tetap. MOR adalah tegangan pada batas patah yang merupakan ukuran kekuatan suatu bahan pada saat menerima beban maksimum yang menyebabkan terjadinya kerusakan. Pengujian MOR dan MOE bambu berdasarkan prosedur ISO 3133-1975 dan ISO 3349-1975.

$$MOR = \frac{3P_{maks}L}{2bt^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$MOE = \frac{PL^3}{4bt^3\delta} \dots\dots\dots(8)$$

Ket: MOR = Modulus lentur bambu (MPa) MOE = Modulus elastisitas bambu (MPa)
 P_{maks} = Beban maksimum (N) L = Panjang (mm)
 b = Lebar bambu (mm) t = Tebal bambu (mm)
 δ = Lendutan proporsional (mm)

Kolom

Kolom pendek dengan beban sentris

Kolom dengan beban sentris mengalami gaya aksial dan tidak mengalami momen lentur. Kapasitas beban sentris maksimum diperoleh dengan menambah kontribusi beton yaitu (Ag-Ast).0,85.fc' dan kontribusi baja tulangan yaitu Ast.fy. Kapasitas beban sentris maksimum (Po) dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 9.

$$Po = 0,85. fc'.(Ag-Ast) + Ast. fy \dots\dots\dots(9)$$

Ket: Po = Kuat beban aksial nominal (N) fc' = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
 Ag = (bxh) = Luas bruto penampang (mm²) Ast = (As + As') = Luas total tulangan (mm²)
 fy = Tegangan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)

Batas eksentrisitas minimal (e_{min}) untuk kolom sengkang dalam arah tegak lurus sumbu lentur adalah 10% ($e_{min} = 10\%.h$) dari tebal kolom dan 5% untuk kolom bulat ($e_{min} = 5\%.h$) (Edward G. Nawy, 1998).

Kolom pendek dengan beban eksentris

Kolom yang menahan beban eksentris mengakibatkan baja pada sisi yang tertarik akan mengalami tarik dengan garis netral dianggap kurang dari tinggi efektif penampang (d). Berdasarkan regangan yang terjadi pada baja tulangan yang tertarik, kondisi awal keruntuhan digolongkan menjadi dua yaitu:

- Keruntuhan tarik diawali dengan luluhnya tulangan tarik dimana $P_n < P_{nb}$.
- Keruntuhan tekan diawali dengan kehancuran beton dimana $P_n > P_{nb}$.

$$P_n = 0,85.fc'.a.b + A_s'.f_s' - A_s.f_s \dots\dots\dots(12)$$

$$M_n = P_n.e = 0,85.fc'.a.b.(\bar{y} - \frac{a}{2}) + A_s'.f_s'.(\bar{y} - d') + A_s.f_s.(d - \bar{y}) \dots\dots\dots(13)$$

Ragam keruntuhan kolom

Keruntuhan balance ($P_n = P_{nb}$)

Kondisi keruntuhan seimbang (balance) tercapai apabila baja tulangan tarik mengalami regangan leleh ($\epsilon_s = \epsilon_y$), dan pada saat itu pula beton mengalami regangan batasnya/mengalami regangan hancur ($\epsilon_s = 0,003$).

Berdasarkan segitiga regangan yang sebangun, dapat diperoleh persamaan tinggi garis netral pada kondisi seimbang (balance) c_b yaitu :

$$c_b = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}.d \dots\dots\dots(15)$$

Kapasitas penampang:

$$P_{nb} = 0,85.fc'.a_b.b + A_s'.f_s' - A_s.f_y \dots\dots\dots(16)$$

$$M_{nb} = P_{nb}.e_b = 0,85.fc'.a_b.b.\left(y - \frac{a_b}{2}\right) + A_s'.f_s'.(y - d') + A_s.f_y.(d - y) \dots\dots\dots(17)$$

Keruntuhan tarik ($P_n \leq P_{nb}$)

Keruntuhan tarik terjadi pada kondisi eksentrisitas yang besar dengan lelehnya tulangan baja di daerah tarik dengan ditandai $P_n < P_{nb}$ yang berarti juga $c < c_b$ atau $\epsilon_s > \epsilon_y$. Bila tulangan tekan belum leleh, digunakan cara coba-coba dengan $c < c_b$. Apabila tulangan tekan diasumsikan telah leleh dan $A_s' = A_s$ dan bila e diketahui, maka P_n dapat dicari:

$$P_n = 0,85.f_c'.b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s.f_y.(d-d')}{0,85.f_c'.b}} \right] \dots\dots\dots(25)$$

Dalam mempermudah penghitungan, persamaan tersebut disederhanakan :

$$P_n = 0,85.f_c'.b \left[K_e + \sqrt{K_e^2 + K_s} \right] \dots\dots\dots(26)$$

$$K_e = \frac{h}{2} - e \dots\dots\dots(27)$$

$$K_s = \frac{2 \sum A_s.f_y.(d-d')}{0,85.f_c'.b} \dots\dots\dots(28)$$

Keruntuhan tekan ($P_n \geq P_{nb}$)

Keruntuhan tekan adalah keruntuhan yang diawali dengan runtuhnya beton yang tertekan. Eksentrisitas gaya normal yang terjadi lebih kecil dari pada eksentrisitas balance ($e < e_b$), dan beban P_n melampaui kekuatan berimbang P_{nb} ($P_n > P_{nb}$). Penyelesaian pendekatan dalam kasus seperti ini digunakan prosedur yang diusulkan Whitney, yaitu:

$$P_n = \frac{A_s'.f_y}{\left(\frac{e}{d-d'} + 0,5 \right)} + \frac{b.h.f_c'}{\frac{3.h.e}{d^2} + 1,18} \dots\dots\dots(29)$$

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental laboratorium, yaitu suatu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan/pengujian secara langsung untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menggabungkan variabel yang diselidiki. Rencana campuran (mix design) dibuat berdasarkan data-data uji bahan dasar dengan kekuatan tekan rencana $f_c' = 20$ MPa dan slump 7 cm-12 cm. Benda uji kolom dibuat menjadi tiga tipe, yaitu kolom bertulangan bambu, kolom bertulangan baja dan kolom tanpa tulangan. Sampel-sampel uji selanjutnya dirawat dengan dibungkus dengan kain basah selama 21 hari, kemudian diangin-anginkan dalam ruangan terbuka dan lembab sampai umur pengujian yaitu 28 hari. Pengujian kolom dilakukan dengan memberikan beban aksial dengan eksentrisitas yang sudah ditetapkan terhadap sumbu kolom dengan interval pembebanan tertentu.

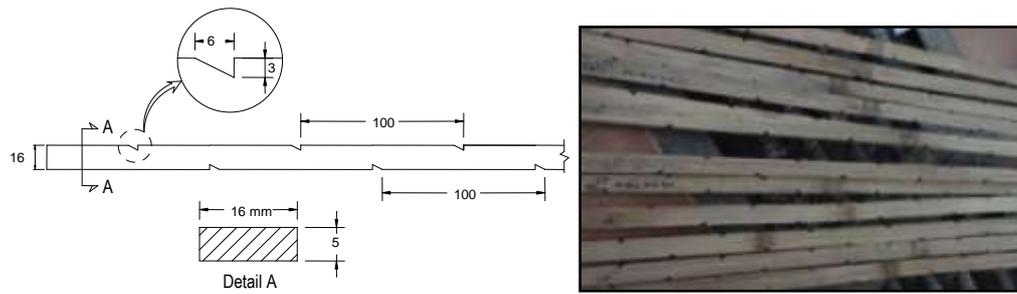
Benda uji kolom

Benda uji kolom dibuat dalam bentuk dan dimensi seperti pada Gambar 1. Penambahan tulangan baja pada kolom dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan terjadinya keruntuhan pada pangkal dan ujung kolom. Adapun jumlah dan tipe benda uji kolom yang dibuat dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1.

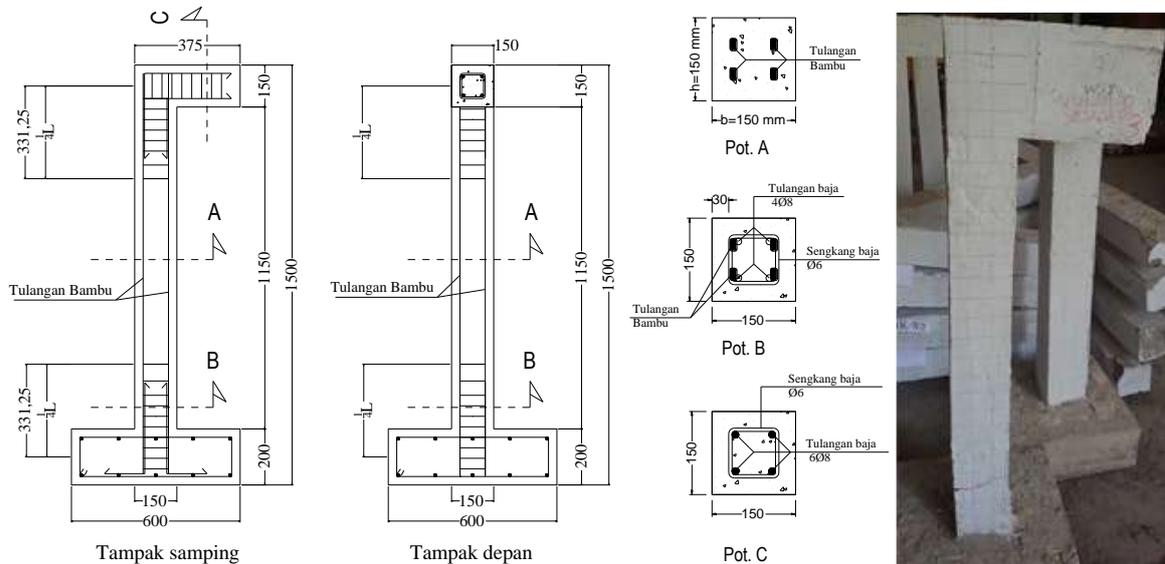
Tabel 1. Jumlah benda uji kapasitas lentur kolom

No.	Jenis Pengujian	Dimensi (mm)			Jumlah
		Sisi a	Sisi b	Tinggi bersih	
1.	Uji lentur kolom tulangan bambu (WS)	150	150	1150	3 buah
2.	Uji lentur kolom tulangan baja (BP)	150	150	1150	2 buah
3.	Uji lentur kolom tanpa tulangan (KK)	150	150	1150	2 buah

Tulangan bambu dibentuk sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan, kemudian ditakik pada bagian sisi kiri dan kanan tulangan dengan arah yang sejajar (sama) dengan jarak antar takikan yaitu 100 mm seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang tulangan bambu



Gambar 2. Penampang benda uji kolom bambu

Pengujian kapasitas lentur kolom

Dial gauge bagian atas dipasang 10 cm dari tepi atas kolom, kolom bagian bawah dipasang 5 cm dari permukaan plat. Pengujian kapasitas lentur kolom dilakukan dengan membaca *dial gauge*, memplotting pola retak pada permukaan beton, kemudian memompa *hydraulic pump* dan membaca *transducer*. Pembebanan kolom dilakukan dengan interval pembacaan setiap 50 kg hingga kolom runtuh atau tidak mampu lagi menerima beban dan angka pada *transducer* terus menurun tidak mau naik lagi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pendahuluan bambu wulung dan baja

Pengujian sifat fisika bambu meliputi pengujian kadar air, berat jenis dan kerapatan bambu wulung. Pengujian sifat mekanika bambu wulung meliputi pengujian kuat tekan sejajar serat, kuat geser sejajar serat bambu, kuat tarik sejajar serat bambu, dan kuat lentur bambu. Data hasil pengujian sifat mekanika yang disajikan adalah data pada kondisi leleh. Pengujian pada baja hanya dilakukan pengujian tarik.

Tabel 2. Hasil pengujian pendahuluan bambu wulung

Pengujian	Hasil pengujian						Rerata	
	Benda uji 1		Benda uji 2		Benda uji 3			
Berat jenis	0,67	gr/cm ³	0,67	gr/cm ³	0,58	gr/cm ³	0,64	gr/cm ³
Kadar air	50,38	%	50,38	%	71,53	%	57,43	%
Kerapatan	0,28	gr/cm ³	0,24	gr/cm ³	0,26	gr/cm ³	0,26	gr/cm ³
Kuat tekan // serat	149,125	MPa	96,197	MPa	95,523	MPa	113,615	MPa
Kuat geser // serat	1,620	MPa	2,256	MPa	1,353	MPa	1,743	MPa
Kuat tarik // serat	227,616	MPa	381,652	MPa	341,001	MPa	316,756	MPa
Modulus of elasticity	42043,98	MPa	23394,22	MPa	17450,64	MPa	27629,61	MPa
Modulus of rupture	13,55	MPa	26,32	MPa	69,87	MPa	36,58	MPa

Nilai rerata kuat tarik sejajar serat dan modulus of elasticity digunakan dalam analisis kolom beton bertulangan bambu wulung dengan takikan sejajar.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tarik baja beton

Benda uji	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	P _{yield} (N)	f _{yield} (MPa)	Es (MPa)
TB1	7,60	45,342	21200	467,562	299240
TB2	7,83	48,168	21400	444,274	236946
TB3	7,72	46,744	22000	470,645	297250
Rerata	7,72	46,751	21533	460,827	277812

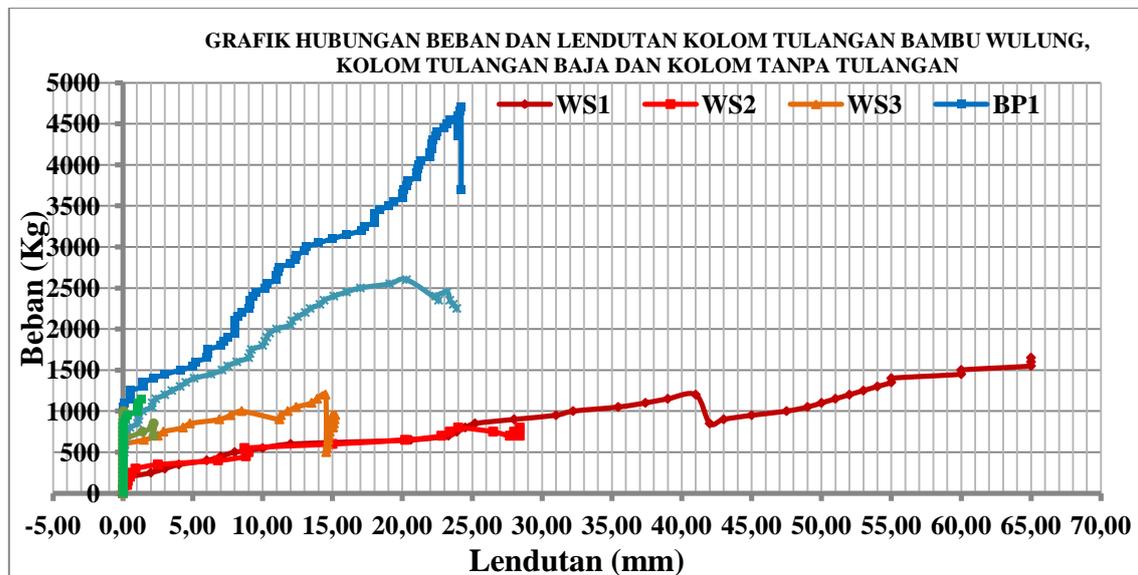
Hasil pengujian silinder beton

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton umur 28 hari hasil pengecoran kolom

Benda uji umur 28 hari	Luas tampang (mm ²)	Beban tekan (kN)	Kuat tekan, f _c ' (MPa)
SP1	17662,5	325	18,40
SP2	17662,5	390	22,08
SP3	17662,5	350	19,82
Kuat tekan rerata (f_c)			20,099

Hasil pengujian kapasitas lentur kolom

Pengujian kapasitas lentur kolom juga diperoleh data mengenai besarnya lendutan yang terjadi pada kolom. Dial bagian atas pada kolom digunakan sebagai acuan dalam menentukan besarnya lendutan yang terjadi.



Gambar 3. Grafik hubungan beban dan lendutan kolom.

Berdasarkan grafik hubungan beban dan lendutan pada gambar di atas, maka diperoleh nilai P_{leleh}, P_{maks}, P_{runtuh}, Δ_{leleh}, Δ_{maks}, dan Δ_{runtuh}. Nilai-nilai tersebut disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai beban dan lendutan pada saat leleh, maksimum, dan runtuh hasil pengujian.

Kolom	P _{leleh} (N)	P _{maks} (N)	P _{runtuh} (N)	Δ _{leleh} (.10 ⁻² mm)	Δ _{maks} (.10 ⁻² mm)	Δ _{runtuh} (.10 ⁻² mm)
BP 1	30.500	47.000	37.000	1.400	2.420	2.420
BP 2	24.500	26.000	24.000	1.600	2.030	2.240
Rerata	27.500	36.500	30.500	1.500	2.225	2.330
KK 1	8.500	10.000	8.500	1	5	220
KK 2	10.000	11.500	11.500	107	134	134
Rerata	9250	10.750	10.000	54	69,5	177
WS 1	12.000	16.500	16.500	41	6.500	6.500
WS 2	7.000	8.000	7.000	23	2.400	2.840
WS 3	10.000	12.000	9.500	9	1.450	1.520
Rerata	11.000	14.250	13.000	25	3.975	4.010

Berdasarkan data-data di atas kemudian dipergunakan untuk menghitung momen lentur yang terjadi dengan menggunakan rumus $M=P.(e+\Delta)$. Hasil penghitungan momen lentur disajikan pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Data penghitungan momen lentur berdasarkan P_{uji} dan e_{uji}

Benda uji kolom	Eksentrisitas, e (mm)	Momen lentur $M=P.(e+\Delta)$ (N.mm)		
		M_{leleh}	M_{maks}	M_{runtuh}
BP 1	200	6.527.000	10.537.400	8.295.400
BP 2	200	5.292.000	5.727.800	5.337.600
Rerata		5.909.500	8.132.600	6.816.500
KK 1	200	1.700.085	2.000.500	1.718.700
KK 2	200	2.010.700	2.315.410	2.315.410
Rerata		1.855.393	2.157.955	2.017.055
WS 1	200	2.404.920	4.372.500	4.372.500
WS 2	200	1.401.610	1.792.000	1.598.800
WS 3	200	2.000.900	2.574.000	2.044.400
Rerata		2.202.910	3.473.250	3.208.450

Hasil analisis beban aksial tekan dan momen lentur kolom

Analisis yang digunakan adalah analisis dengan pembebanan eksentris pada kondisi keruntuhan tarik. Hasil analisis beban aksial tekan (P) dan momen lentur (M) kolom beton bertulangan bambu wulung takikan sejajar dan kolom bertulangan baja polos diameter 7,72 mm pada kondisi keruntuhan tarik disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Beban aksial tekan dan momen lentur berdasarkan hasil analisis.

Benda uji kolom	Beban aksial, P (N)	Momen lentur, M (N.mm)
BP1	22.342	4.781.150
BP2	22.043	4.761.343
Rerata	22.193	4.771.247
WS1	20.775	5.006.821
WS3	25.424	5.313.560
Rerata	23.099	5.160.191

f_{ybambu} direduksi agar nilai hasil analisis sama atau lebih kecil dari nilai hasil pengujian. Hasil analisis setelah f_{ybambu} direduksi, disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Beban aksial tekan dan momen lentur berdasarkan hasil analisis setelah f_{ybambu} direduksi

Benda uji kolom	Beban aksial, P (N)	Momen lentur, M (N.mm)
WS1	8.838	2.129.923
WS3	10.889	2.275.896
Rerata	9.864	2.202.909

Rekapitulasi beban aksial tekan (P) dan momen lentur (M) berdasarkan hasil analisis dan pengujian

Hasil pengujian dan hasil analisis aksial tekan nominal (P_n) dan momen lentur nominal (M_n) kolom pada tabel di atas kemudian direkapitulasi di dalam Tabel 8 berdasarkan nilai rerata maksimum.

Tabel 9. Rekapitulasi momen lentur hasil analisis dan pengujian

Kolom	Hasil analisis		Hasil pengujian					
	P (N)	M (N.mm)	P_{leleh} (N)	P_{maks} (N)	P_{runtuh} (N)	M_{leleh} (N.mm)	$M_{maks.}$ (N.mm)	M_{runtuh} (N.mm)
BP	22.193	4.771.247	27.500	36.500	30.500	5.909.500	8.132.600	6.816.500
KK	-	-	9.250	10.750	10.000	1.855.393	2.157.955	2.017.055
WS	9.864	2.202.909	11.000	14.250	13.000	2.202.910	3.473.250	3.208.450

Pembahasan

Hasil analisis dan pengujian kolom

Berdasarkan hasil pengujian kapasitas lentur kolom pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa nilai kapasitas beban aksial tekan pada kondisi maksimum untuk kolom beton kosong tanpa tulangan adalah sebesar 10.750 N dan nilai kapasitas momen lentur pada kondisi maksimumnya adalah sebesar 2.157.955 N.mm. Nilai kapasitas

aksial tekan kondisi maksimum untuk kolom bertulangan baja berdiameter rerata 7,72 mm (8 mm) adalah sebesar 36.500 N, sedangkan kapasitas momen lentur kondisi maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 8.132.600 N.mm. Nilai kapasitas aksial tekan kondisi maksimum untuk kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar dengan ukuran tulangan rerata 5,16 mm x 10,08 mm adalah sebesar 14.250 N, sedangkan kapasitas momen lentur kondisi maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 3.473.250 N.mm.

Hasil pengujian kapasitas lentur kolom pada Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai kapasitas beban aksial tekan pada kondisi runtuh untuk kolom beton kosong tanpa tulangan adalah sebesar 10.000 N dan nilai kapasitas momen lentur pada kondisi runtuhnya adalah sebesar 2.017.055 N.mm. Nilai kapasitas aksial tekan kondisi runtuh untuk kolom bertulangan baja adalah 30.500 N, sedangkan kapasitas momen lentur kondisi runtuh yang dihasilkan adalah sebesar 6.816.500 N.mm. Nilai kapasitas aksial tekan kondisi runtuh untuk kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar adalah 13.000 N, sedangkan kapasitas momen lentur kondisi runtuh yang dihasilkan adalah sebesar 3.208.450 N.mm.

Takikan pada tulangan bambu wulung juga memberikan/menambah kuat lekat tulangan terhadap beton, sehingga tegangan leleh pada tulangan bambu dapat dimaksimalkan. Hal ini lebih menguntungkan dibandingkan dengan tulangan bambu yang tidak diberi takikan, dimana kelekatan pada beton sangat kurang dan memungkinkan terjadi slip antara tulangan dan beton, sehingga tegangan pada tulangan tidak maksimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kapasitas lentur kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar dan kolom kosong tanpa tulangan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Nilai rerata aksial tekan kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar pada kondisi adalah 11.000 N. Nilai rerata momen lentur kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar pada kondisi leleh adalah sebesar 2.202.910 N.mm. Nilai rerata kapasitas beban aksial tekan maksimum untuk kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar adalah 14.250 N. Nilai rerata momen lentur maksimum kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar adalah sebesar 3.473.250 N.mm. Nilai rerata aksial tekan kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar pada kondisi runtuh adalah 13.000 N. Nilai rerata momen lentur kolom bertulangan bambu wulung takikan sejajar pada kondisi runtuh adalah sebesar 3.208.450 N.mm. Nilai rerata kapasitas beban aksial tekan untuk kolom beton kosong tanpa tulangan pada kondisi leleh adalah sebesar 9.250 N. Nilai rerata momen lentur kolom kosong tanpa tulangan pada kondisi leleh adalah sebesar 1.855.393 N.mm. Nilai rerata kapasitas beban aksial tekan maksimum untuk kolom beton kosong tanpa tulangan adalah sebesar 10.750 N. Nilai rerata momen lentur maksimum kolom kosong tanpa tulangan adalah sebesar 2.157.955 N.mm. Nilai rerata kapasitas beban aksial tekan kondisi runtuh untuk kolom beton kosong tanpa tulangan adalah sebesar 10.000 N. Nilai rerata momen lentur kondisi runtuh kolom kosong tanpa tulangan adalah sebesar 2.017.055 N.mm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Agus Setyabudi, ST. MT. dan Ir. Sunarmasto, MT. yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Frick, H., 2004. "Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu, Pengantar Konstruksi Bambu", Kanisius, Yogyakarta.
- Krisnamurthy, D., 1990. "Building with Bamboo-A Solution for Housing Rural Poor": 258-269. In Rao, I.V.R., Gnanaharan, R. & Shastry, C.B., Bamboos Current Research, The Kerala Forest Research Institute-India, and IDRC Canada.
- Morisco, 2008. Teknologi Bambu. Diktat kuliah Magister Teknik Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan UGM, Yogyakarta.
- Nawy, Edward G., 1990. Beton Bertulang ; Suatu Pendekatan Dasar, PT. Eresco, Bandung.
- Pambudi, Ajar., 2003. Pengaruh Pengawetan Bambu dengan Minyak Solar terhadap Karakteristik Bambu (studi kasus perendaman dingin dengan minyak solar pada jenis bambu petung). Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan UGM.
- Prawirohatmodjo, S., 1990. "Comparative Strength of Green and Air-dry Bamboo", 218-222. In Rao I.V.R., Gnanaharan, R. & Shastry, C.B., Bamboos Current Research, The Kerala Forest Research Institute-India, and IDRC Canada.
- Pathurahman dan Fajrin J., 2003. "Aplikasi Bambu Pilitan Sebagai Tulangan Balok Beton", dalam Jurnal Dimensi Teknik Sipil, Volume 5, No.1, Maret 2003, Halaman 39-44, Jurusan Teknik Sipil Fak. Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Surjokusumo, S. dan Nugroho, N., 1993. “Studi Penggunaan Bambu Sebagai Bahan Tulangan Beton”, Laporan Penelitian, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.

Tjokrodimuljo. K., 1996. “Teknologi Beton”, Gajah Mada Press. Yogyakarta.