

APLIKASI BAMBU PILINAN SEBAGAI TULANGAN BALOK BETON

Pathurahman, Jauhar Fajrin

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, NTB.

Dwi Anggraini Kusuma

Alumnus Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, NTB

ABSTRAK

Baja tulangan adalah produk hasil tambang yang keberadaannya suatu saat akan habis. Untuk mengatasi problem tersebut, sebagai alternatif dicoba pemakaian tulangan bambu yang murah dan berkekuatan tinggi. Pada penelitian ini bambu digunakan sebagai tulangan balok beton, balok direncanakan bertulangan liat (*underreinforced*) dan tidak bertulangan tekan, semua balok diberi tulangan bambu pilinan dari bambu galah dengan diameter 12 mm dan diberi lapisan kedap air. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *metode four point load*, sehingga pada bagian balok diharapkan akan terjadi lentur murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbandingan antara momen retak awal (eksperimen) dengan momen perhitungan (teoritis) sebesar 115.26 %, hal ini menunjukkan adanya kecocokan antara teori dan eksperimen. Simpangan standar yang cukup besar yaitu 35.31 % dapat diartikan bahwa kualitas tulangan kurang seragam. Disimpulkan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan, khususnya untuk struktur beton sederhana.

Kata kunci: Balok beton, tulangan bambu, kuat lentur.

ABSTRACT

Reinforcing steel is a nonrenewable mining product. In order to solve this problem, bamboo, which is cheap and has a fairly high tensile strength, could be used as an alternative. In this study, bamboo is used to reinforce concrete beam. The beams are designed under reinforced with no compression reinforcement. All beams are reinforced with 12 mm bamboo Galah protected with water resistant layer. A four-point load test set up is used to ensure pure bending. The test results show that the average value of first crack moment is 15.26 % bigger compared with the calculated moment. This indicates that there is a reasonable agreement between experimental and theoretical results. The standard deviation (35,31 %) indicates that the quality of bamboo used in this study is not uniform. It could be concluded that, there is a possibility to use bamboo to replace steel as reinforcement, particularly for simple concrete structures.

Keywords: Concrete beam, bamboo reinforcement, bending strength.

PENDAHULUAN

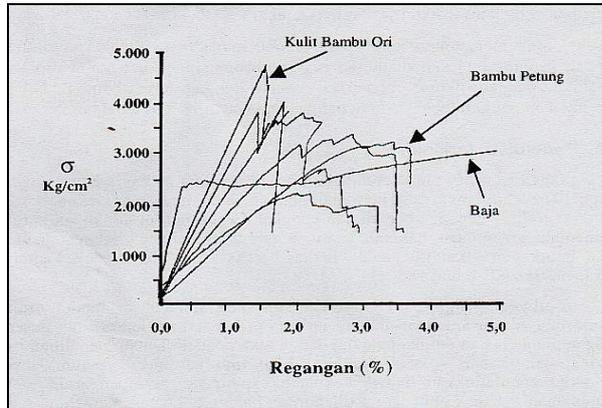
Beton mempunyai kekuatan tekan yang cukup besar, namun sangat lemah terhadap tarik. Karena itu penggunaan beton selalu dipadukan dengan bahan yang mempunyai kuat tarik tinggi yaitu baja. Beton dengan tulangan baja adalah perpaduan yang sangat kuat, sehingga beton bertulang banyak digunakan sebagai bahan bangunan.

Fenomena diatas ternyata menimbulkan permasalahan baru yaitu baja yang selama ini dijadikan sebagai tulangan merupakan bahan tambang yang tidak dapat diperbaharui, sehingga keberadaannya suatu saat akan habis. Dalam upaya pencarian alternatif, dilakukan penelitian-penelitian, antara lain terhadap material pengganti berupa hasil alam yaitu bambu. Bambu merupakan hasil alam yang dapat diperoleh dengan mudah dan mempunyai kekuatan tarik yang sangat tinggi.

Hasil penyelidikan yang dilaporkan dalam referensi [1, 2, 3, 4, 5, 6], menyatakan bahwa bambu dapat digunakan sebagai tulangan beton

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 5 Nomor 2 September 2003.

pengganti baja dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi mendekati kekuatan baja struktur (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram Tegangan-regangan Bambu dan Baja [6]

Tetapi masih banyak keraguan untuk pemakaian bambu sebagai tulangan beton. Keraguan pertama timbul karena lekatan antara bambu dan semen kurang baik, selain itu bambu sangat higroskopis, sedang kandungan air pada bambu sangat mempengaruhi kembang susut, yang lebih lanjut akan mempengaruhi lekatan antara bambu dan beton. Referensi [7] menyatakan bahwa pemakaian bambu tanpa perlakuan khusus sebagai tulangan beton sangat tidak dianjurkan.

Para peneliti mengusulkan cara untuk mengatasi kelemahan di atas dengan: menggunakan bambu yang sudah tua usianya sehingga daya serap dan kelembabannya kecil, melapisi batang bambu dengan bahan kedap air seperti vernis, cat dan cairan aspal [2, 8], tetapi harus dihindari licinnya permukaan bambu akibat pemakaian bahan-bahan tersebut, karena hal itu akan mengurangi daya lekat. Untuk memperbaiki lekatan antara bambu dan beton Lopez [9] menggunakan bambu pilitan. Cara ini telah diaplikasikan pada perumahan prafabrikasi dikota Guayaquil. Dalam waktu 10 tahun bangunan tersebut tidak memperlihatkan keretakan.

LANDASAN TEORI

Analisis dan perencanaan balok menggunakan rumus-rumus dalam analisis beton bertulang [10] dengan ketentuan sebagai berikut :

Modulus Elastisitas Beton

Digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai berikut [10]:

$$E_c = 0.043 * W_c^{1.5} * \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)} \tag{1}$$

dimana :

W_c = berat volume beton (kg/m³)

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

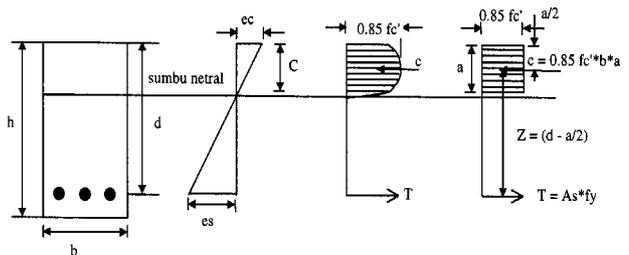
Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat volume berkisar antara 1500 dan 2500 kg/m³. Untuk beton kepadatan normal dengan berat volumne ± 23 KN/m³ dapat digunakan nilai

$$E_c = 4700 * \sqrt{f_c'} \tag{2}$$

Anggapan-anggapan

Pendekatan dan pengembangan metode perencanaan kekuatan didasarkan atas anggapan-anggapan [11] sebagai berikut (Gambar 2):

1. Prinsip Navier-Bernoulli tetap berlaku.
2. Tegangan beton dapat disederhanakan menjadi tegangan kotak
3. Kuat tarik beton diabaikan (tidak diperhitungkan) dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan bambu.



Gambar 2. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton

Dalam Gambar 2,

$$a = \beta_1 * x \tag{3}$$

c = jarak serat tekan ke garis terluar ke garis netral

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Standar [10] menetapkan nilai β_1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f_c' \leq 30 \text{ MPa} & \quad \beta_1 = 0.85 \\ 30 < f_c' < 50 \text{ MPa} & \quad \beta_1 = 0.85 - (f_c' - 30) \\ f_c' \geq 50 \text{ MPa} & \quad \beta_1 = 0.65 \end{aligned}$$

Pembatasan Penulangan Tarik

Pada perhitungan beton bertulang [10] ditetapkan bahwa jumlah tulangan baja tarik, A_s , tidak boleh melebihi 0.75 dari tulangan balans, A_{bs} , yaitu jumlah tulangan tarik bila beton dan baja kedua-duanya mencapai regangan hancur,

$$A_s \leq 0.75 * A_{sb} \tag{4}$$

Dalam penelitian ini tulangan bambu ditetapkan tidak lebih dari 60 persen dari tulangan balans,

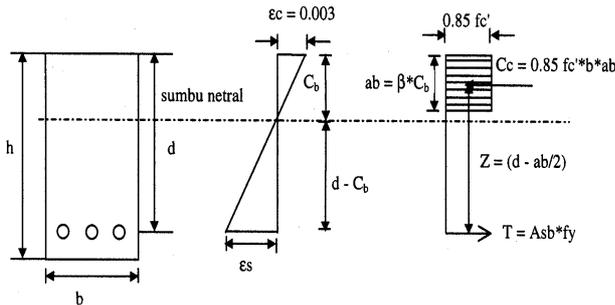
$$A_s \leq 0.60 * A_{sb} \tag{5}$$

Sedangkan modulus elastisitas dan tegangan leleh bambu ditetapkan sebagai berikut:

$$E_s = \text{Modulus elastisitas bambu} = 180.000 \text{ kg/m}^2 \tag{6}$$

$$f_y = \text{tegangan leleh bambu} = 223.33 \text{ MPa}$$

Analisis balok



Gambar 3. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton

Kondisi regangan seimbang (balance) terjadi jika :

$$\epsilon_c' = 0.003 \text{ dan } \epsilon_s = \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

dimana :

$f_y = \text{tegangan leleh bambu} = 223.33 \text{ MPa}$
 $E_s = \text{Modulus elastisitas bambu} = 180.000 \text{ kg/m}^2$
 Pada kondisi balans didapat:

$$C_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} \tag{7}$$

$$ab = \beta * C_b \tag{8}$$

$$C_c = 0.85 f_c' * b * ab \tag{9}$$

$$T = A_s * f_y \tag{10}$$

Karena $\sum H = 0$, maka $T = C_c$

$$A_s * f_y = 0.85 * f_c' * b * ab$$

$$A_s = \frac{0.85 * f_c' * b * ab}{f_y} \tag{11}$$

$$a = \frac{T}{0.85 * f_c' * b} \tag{12}$$

$$M_n = T * (d - a/2) \tag{13}$$

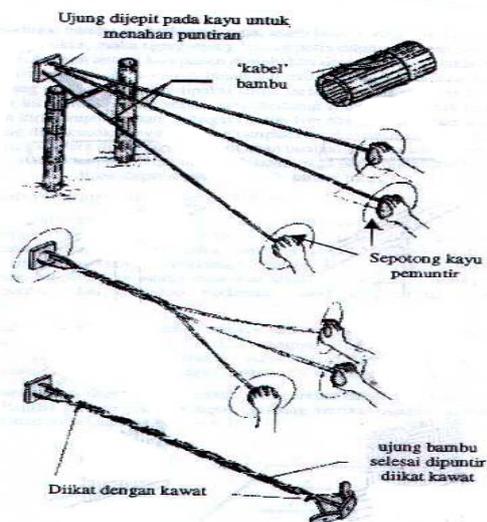
$$M_r = 0.80 M_n$$

Dari hasil analisa balok dapat diketahui besarnya beban, P, yang dapat bekerja pada balok, dari hasil percobaan juga akan diperoleh nilai P yang berguna untuk menghitung besarnya momen ultimit yang dapat dilayani, kedua nilai momen hasil dari analisis dan hasil pengujian akan dibandingkan.

METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan Tulangan Bambu Pilinan

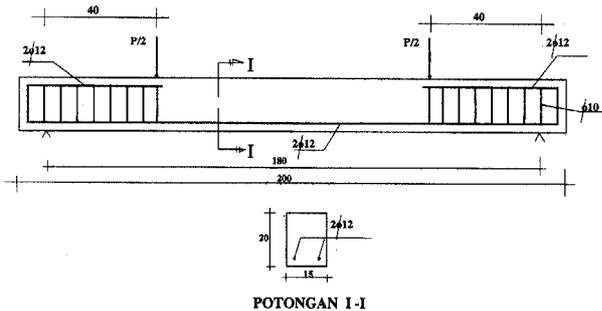
Sebagai tulangan digunakan bambu galah, bambu diambil bagian kulit dengan ketebalan 30 % dari tebal total. Pengambilan bagian kulit ini dengan pertimbangan bahwa bagian ini relatif cukup padat sehingga sifat higroskopisnya rendah dan kurang memerlukan lapisan kedap air. Dengan pertimbangan kembang susut bambu dapat berpengaruh terhadap kuat lekat antara bambu dengan beton, maka untuk mengantisipasi hal tersebut, meskipun bagian kulit bambu yang dipakai hampir tidak menyerap air dan kembang susutnya sangat kecil, dalam penelitian ini tetap digunakan lapisan kedap air. Bagian kulit juga bagian yang terkuat. Hasil penelitian menunjukkan kuat tarik bambu bagian luar kurang lebih tiga kali kuat tarik bagian dalam. Tulangan bambu dibentuk seperti kabel yang terdiri dari tiga bilah. Agar pemuntiran tulangan bambu lebih mudah maka dipilih bambu yang umurnya baru 9 bulan. Mengingat bahwa buku bambu adalah bagian yang terlemah terhadap tarikan maka dalam pembuatan kabel bambu, buku-buku bilah bambu perlu diusahakan agar tidak berkumpul disatu titik. Dalam penelitian ini digunakan bilah-bilah bambu sebanyak tiga buah dengan lebar 5 mm, tebal 5 mm dan panjang 2,5 meter disatukan dan diikat dengan kawat bindraat lalu dijepit pada alat penjepit, kemudian dipuntir. Pemuntiran kabel dilakukan secara hati-hati, sehingga bagian kulit dari bambu jangan sampai terputus, karena akan mengakibatkan kuat tarik tulangan berkurang. Adapun cara pemuntiran kabel bambu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemuntiran kabel bambu [9]

Pembuatan Benda Uji.

Benda uji balok dibuat sebanyak lima (5) buah dengan ukuran 15x20x200 cm. Balok direncanakan bertulangan liat (*Underreinforced*) dan tidak bertulangan tekan. Semua balok diberi dua buah tulangan bambu pilinan dengan diameter 12 mm dengan kuat tarik, $f_y = 223.33$ Mpa, serta modulus elastisitas, $E_s = 180.000$ kg/m². Pada bagian tengah balok (100 cm) diharapkan akan terjadi lentur murni, tulangan bambu hanya diberikan pada sisi bawah saja. Hal ini dimaksudkan agar pada bagian tersebut tulangan yang berpengaruh hanya tulangan tarik saja, dan menjadi bagian yang terlemah dari balok uji. Pada bagian lain dipasang tulangan rangkap dengan tulangan begel diameter 10 mm. Maksud pemasangan penulangan tersebut agar kemungkinan patah benar-benar pada daerah lentur murni, sehingga tidak terjadi kegagalan percobaan karena patah pada bagian lain. Penulangan dan pembebanan balok dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Penulangan dan Pembebanan Balok

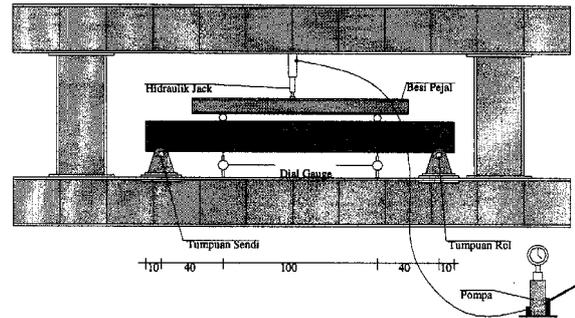
Karakteristik penulangan balok ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik sifat lentur balok

Kode Balok	Bentang (cm)	F _c (Mpa)	f _y (Mpa)	b (cm)	d (cm)	ρ _w (%)	ρ _d (%)	ρ _w /ρ _d (%)
B1	180	20,95	223,33	15	17,5	2,311-2,773	4,939	46,79-56,41
B2	180	20,95	223,33	15	17,5	2,311-2,773	4,939	46,79-56,14
B3	180	21,51	223,33	15	17,5	2,311-2,773	5,071	45,57-54,68
B4	180	20,38	223,33	15	17,5	2,311-2,773	4,805	48,10-57,70
B5	180	21,51	223,33	15	17,5	2,311-2,773	5,071	45,57-54,68

Pengujian

Pola pembebanan pada pengujian balok beton ditunjukkan dalam Gambar 6. Kedua tumpuan balok uji dibuat sedemikian rupa, sehingga mempunyai perilaku yang sama dengan perletakan sendi dan rol. Dengan demikian kondisi struktur pengujian merupakan struktur statis tertentu.



Gambar 6. Pengujian balok beton

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sifat-sifat Umum Hasil Pengujian

Kelima benda uji secara umum menunjukkan bahwa keruntuhan balok diawali dengan retak lentur yang terjadi di daerah tumpuan bentang sepanjang 100 cm (Gambar 7 sampai 11). Keruntuhan tidak terjadi pada daerah dengan tulangan geser. Pola retak dan pola runtuh yang terjadi pada benda uji menunjukkan ciri yang mendekati sama. Runtuh lentur ditandai oleh retak-retak tegak lurus dan meningkat jumlahnya di daerah tulangan tarik pada tengah bentang. Dari hasil pengamatan terlihat bahwa pada saat terjadi keruntuhan ada sebagian tulangan bambu yang telah putus.

Proses Retak

Penambahan retak untuk setiap peningkatan beban tidak selalu merupakan kelanjutan dari retak sebelumnya. Retak lentur pada umumnya terjadi setelah dibebani di atas 90% dari beban teoritis (Tabel 2) atau sekitar 78% dari beban runtuh. Secara umum dapat dilihat bahwa peningkatan panjang retak berkurang dengan bertambahnya beban yang diberikan, sedangkan lebar retak akan bertambah seiring dengan bertambahnya beban. Retak yang terjadi pada umumnya merupakan retak lentur. Pada saat beban mendekati beban runtuh retak lentur semakin melebar pada retak awal dan terdapat pula retak-retak baru.

Tabel 2. Perbandingan beban antara teori dan eksperimen

Kode Balok (cm)	Bentang (cm)	Beban teoritis, P _t (Kg)	Beban retak awal, P _{ex.} (Kg)	Beban runtuh, P _r (Kg)	P _{ex.} /P _t (%)	P _{ex.} /P _r (%)
1	2	3	4	5	6	7
B1	180	3345.130	1884.940	4001.50	56.35	47.11
B2	180	3345.130	3493.925	4001.50	104.45	87.31
B3	180	3350.102	3116.940	4001.50	93.04	77.89
B4	180	3339.782	3242.600	3800.44	97.09	85.32
B5	180	3350.102	3619.590	3900.97	108.04	92.79

Retak Lentur Awal

Pada awal pembebanan hingga beban yang diperkirakan terjadi retak, balok bebas dari retak. Tetapi pada beberapa benda uji terdapat retak rambut pada sepertiga pembebanan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh penempatan benda uji pada kedua tumpuan yang tidak simetris. Retak pertama yang terjadi merupakan retak lentur yang pada umumnya ditemukan pada daerah mendekati tumpuan rol atau terletak di antara koordinat (146, 0) sampai dengan koordinat (150, 0). Lebar retak lentur awal yang teramati sekitar 0.01 sampai 0.05 mm. Pada beberapa balok selain retak yang terjadi pada daerah mendekati tumpuan rol, juga terjadi retak awal pada titik beban mendekati tumpuan sendi atau di sekitar koordinat (50,0). Hal ini sangat mungkin terjadi karena pada daerah sendi terjadi pengekangan. Retak-retak awal yang terjadi di sekitar daerah sendi juga merupakan retak lentur. Retak ini ditandai oleh arah retak yang tegak lurus sumbu balok. Nilai rata-rata dari perbandingan antara momen retak awal perhitungan teoritis dan eksperimen sebesar 115.26%, menunjukkan adanya kecocokan antara perhitungan teoritis dengan eksperimen. Simpangan standar sebesar 35.31% menunjukkan bahwa kualitas tulangan kurang seragam. Perbandingan antara momen retak awal teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3.

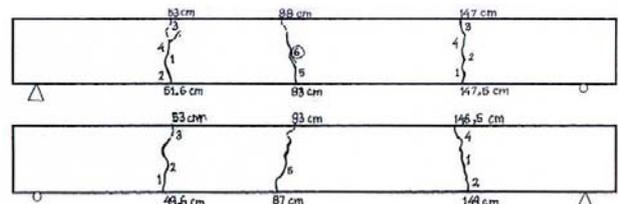
Tabel 3. Perbandingan antara teori dan eksperimen

Kode Balok (cm)	Bentang (cm)	Momen Perhit. Mr (KN.m)	Momen retak awal, M exp. (KN.m)	Mr/M exp. (%)
1	2	3	4	5
B1	180	669.025	376.988	1.775
B2	180	669.025	698.785	0.957
B3	180	670.020	623.388	1.075
B4	180	667.957	648.520	1.030
B5	180	670.020	723.918	0.026
Rata-rata				115.26 %
Simpangan standar				35.31%

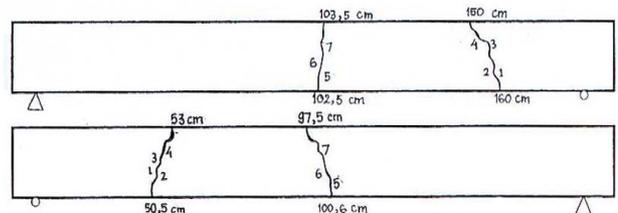
Penyebaran Pola Retak

Pola retak yang terjadi pada badan balok dapat dibagi menjadi dua daerah. Daerah beton yang mengalami tekan dan daerah beton yang mengalami tarik. Sesuai dengan perencanaan pada penelitian ini yaitu balok direncanakan bertulangan liat (*underreinforced*), maka daerah tarik mengalami keruntuhan terlebih dahulu. Retak lentur awal yang terjadi memang selalu berada pada daerah tarik selanjutnya retak menyebar sedikit demi sedikit ke daerah tekan. Retak yang terjadi di daerah tekan tersebut tidak terlalu banyak dan lebar retaknya sangat

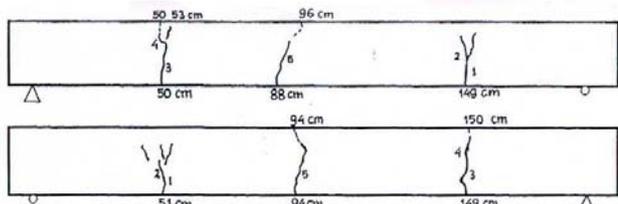
kecil. Retak yang terjadi pada daerah tekan masih merupakan retak lentur. Secara umum retak awal terjadi di bawah titik beban. Setelah beban mencapai diatas 90 % dari beban teoritis atau sekitar 78 % dari beban runtuh retak mulai terjadi ditengah bentang, ini dapat dilihat dari nomor urut retak yang terdapat pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 11. Dari keseluruhan retak yang terjadi pada benda uji tidak ada retak di daerah tulangan geser. Hal ini sesuai dengan perencanaan balok yang direncanakan kuat terhadap geser.



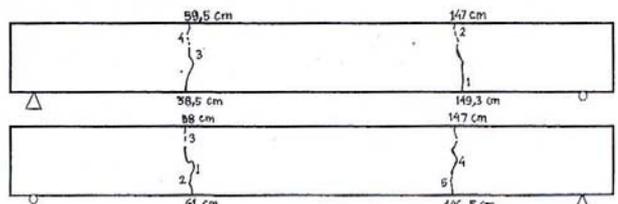
Gambar 7. Pola Retak Balok Beton B1



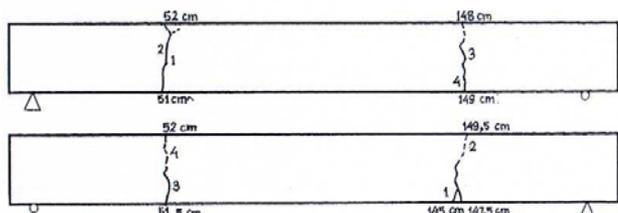
Gambar 8. Pola Retak Balok Beton B2



Gambar 9. Pola Retak Balok Beton B3



Gambar 10. Pola Retak Balok Beton B4



Gambar 11. Pola Retak Balok Beton B5

KESIMPULAN

1. Keruntuhan yang terjadi pada benda uji balok beton pada penelitian ini diawali dengan retaknya beton. Retak yang selalu terjadi pada awal proses keruntuhan adalah retak lentur ditandai dengan pola retak yang tegak lurus. Secara umum retak tersebut terjadi pada saat beban mencapai di atas 90% dari beban teoritis atau sekitar 78% dari beban runtuh. Retak awal biasanya terjadi pada daerah pembebanan di sekitar tumpuan rol, kemudian retak terjadi di daerah tengah bentang selanjutnya di daerah sekitar sendi, atau sebaliknya.
2. Dari hasil perbandingan antara teori dengan eksperimen menunjukkan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, *Penyelidikan Bambu Untuk Tulangan Beton*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung 1984
2. Surjokusumo, S. dan Nugroho, N., *Studi Penggunaan bambu Sebagai Bahan Tulangan Beton*, Laporan Penelitian, Fakultas Kehutanan IPB. Bogor 1993.
3. Janssen, J.J.A., The Mechanical Properties of Bamboo: 250-256. In Rao, A.N., Dhanarajan, and Sastry, C.B., Recent Research on Bamboos, The Chinese Academy of Forest, People's Republic of China, and IDRC, Canada 1987.
4. Prawirohatmodjo, S., 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 1990.
5. Ghavani, K., Application of Bamboo as a low-cost Construction Material: 270-279. In Rao, I.V.R., Gnanaharan, R. & Shastry, C.B., Bamboos Current Research, The Kerala Forest Research Institute-India, and IDRC Canada 1990.
6. Morisco, Rekaya Bambu, Nafiri, Yogyakarta 1999.
7. Anonim, Precast Concrete Element with Bamboo Reinforcement, *Technical Report No. 6.646*, May 1964, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Missisipi 1964.
8. Krisnamurthy, D., 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 1990.
9. Lopez, O.H., *Manual de Construcción Con Bambu*, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia 1996.
10. Anonim, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03)*, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung 1991.
11. Istimawan, D., *Struktur Beton Bertulang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 1994.