

KAJIAN KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANGAN BAMBU WULUNG DENGAN TAKIKAN TIDAK SEJAJAR

Fajar Hari Mukti¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Kusno Adi Sambowo³⁾

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

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

Jalan Ir. Sutami No. 36 A Ketingan, Surakarta.

Email : harimukti.fajar@gmail.com

Abstract

One of processed iron ore product is steel reinforcement. However, iron ore is an unrenewable resource which its existence will run out. In order to solve that problem, it will be tried to use bamboo reinforcement, which is cheap and has fairly high tensile strength, as an alternative substitution for steel reinforcement. The purpose of this research is to find out flexural capacity of bamboo reinforced concrete beam. This research is using experimental method with 6 samples. Flexural test is using four point loading method. Samples are concrete beams with length (P) = 1700 mm, width (L) = 100 mm, and height (H) = 150 mm. Three beams use unparallelled notch bamboo reinforcement with length (p) = 1600 mm, width (b) = 15 mm, thick (t) = 5.2 mm, dimension of notch is 6 mm in length (a_T), 3 mm in depth (b_T), and space between notches is 100 mm. The three other beams use $\varnothing = 10$ mm steel reinforcement with 1600 mm in length. Compressive strength of concrete is 16.411 MPa. Flexural test is held when concrete beams reach 28 days old. The test results show that average flexural capacity of bamboo reinforced beams is 92.125 kgm and analysis calculation results 68.5513 kgm. Average flexural capacity of steel reinforced beams based on test result is 497.625 kgm and analysis calculation results 366.7077 kgm. Factor of strength reduction (Φ) which is used for bamboo reinforced beams is 0.44. This is because of flexural mechanism which is occured to bamboo reinforced beam and another possibilities that may occur to bamboo reinforcement bar such as hygroscopic mechanism, chemical reaction in fresh concrete may give effect to strength of bamboo reinforcement bar, and fiber's concentration of bamboo that can be un-uniformed.

Keywords : concrete, flexural capacity, wulung bamboo, notch

Abstrak

Salah satu produk olahan bijih besi adalah tulangan baja. Akan tetapi, bijih besi adalah sumber daya alam tak terbarukan yang keberadaannya suatu saat akan habis. Untuk mengatasi masalah tersebut, dicoba pemakaian tulangan bambu yang murah dan berkekuatan tinggi sebagai alternatif pengganti tulangan baja. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kapasitas lentur balok beton bertulangan bambu. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan 6 buah benda uji. Pengujian lentur balok menggunakan metode four point loading. Benda uji berupa balok beton berukuran $P = 1700$ mm, $L = 100$ mm, dan $H = 150$ mm. Tiga buah balok menggunakan tulangan bambu bertakikan tidak sejajar berdimensi $p = 1600$ mm, $b = 15$ mm, $t = 5.2$ mm, takikan berdimensi $a_T = 6$ mm, $b_T = 3$ mm, dan jarak antar takikan = 100 mm. Tiga balok lainnya menggunakan tulangan baja berdiameter $\varnothing = 10$ mm dan $p = 1600$ mm. Kuat tekan beton yang digunakan adalah $f_c' = 16.411$ MPa. Pengujian dilakukan ketika beton mencapai umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok beton bertulangan bambu memiliki kapasitas lentur rata-rata sebesar 92.125 kgm dan dari hasil hitungan analisis sebesar 68.5513 kgm. Pengujian pada balok bertulangan baja menghasilkan nilai kapasitas lentur rata-rata sebesar 497.625 kgm dan dari hasil hitungan analisis sebesar 366.7077 kgm. Nilai faktor reduksi kekuatan balok beton bertulangan bambu wulung (Φ) diambil sebesar 0.44. Hal ini karena selain mengalami mekanisme lentur tanpa aksial, tulangan bambu yang digunakan juga dapat mengalami kembang-susut, reaksi kimia dalam campuran beton dapat mempengaruhi kekuatan tulangan bambu, dan konsentrasi serat bambu yang belum tentu seragam.

Kata Kunci : beton, kapasitas lentur, bambu wulung, takikan

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan sipil dibandingkan material konstruksi lainnya. Beton memiliki keunggulan berupa kuat desak yang tinggi dan mudah dibentuk, namun kekuatan tarik beton sangat rendah sehingga penggunaan beton selalu dipadukan dengan bahan yang memiliki kuat tarik tinggi, misalnya baja. Beton bertulangan baja adalah perpaduan yang kuat, sehingga beton bertulangan baja selalu digunakan dalam konstruksi bangunan.

Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat akan meningkatkan kebutuhan penggunaan beton bertulang dalam pembangunan perumahan dan fasilitas penunjang lainnya. Penggunaan tulangan baja sebagai salah satu bahan konstruksi semakin meningkat sedangkan ketersediaan bahan bakunya di alam terbatas sehingga akan terjadi kelangkaan pada suatu saat nanti. Upaya untuk mencari alternatif pengganti tulangan baja perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pemilihan bambu sebagai alternatif pengganti tulangan baja didasarkan pada produk hasil alam yang *renewable* yang dapat diperoleh dengan mudah, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek *global warming* serta memiliki kuat tarik cukup tinggi (Setiya Budi, A., 2010).

Kuat tarik bambu dapat mencapai 1280 kg/cm² (Morisco, 1999). Kekuatan tarik bambu sejajar serat berkisar 200 - 300 MPa, kekuatan lentur rata-rata 84 MPa dan modulus elastisitas 200000 MPa. Bambu mempunyai ketahanan terhadap lentur. Hal ini dikarenakan bambu memiliki serat yang lurus dan sejajar arah tumbuh batang. Serat tersebut memungkinkan bambu menahan lendutan yang lebih besar.

Jika dilihat dari kekuatannya, maka bambu dinilai cukup layak untuk dijadikan alternatif pengganti tulangan baja, minimal untuk elemen nonstruktural dan struktur ringan. Bambu bersifat higroskopis, yaitu memiliki kembang-susut yang cukup besar. Penyusutan dapat mengurangi kekuatan lekat beton pada bambu sehingga berakibat menurunnya daya dukung struktur. Dengan membuat takikan pada tulangan bambu, maka pergeseran (*slip*) antara tulangan dengan beton akibat berkurangnya kuat lekat dapat dicegah sehingga daya dukung struktur lebih terjaga.

TINJAUAN PUSTAKA

Bambu merupakan bahan konstruksi yang banyak dimanfaatkan sebagai komponen bangunan seperti tiang, atap, tangga, meja, kursi dan masih banyak lagi manfaatnya yang lain. Bambu dapat tumbuh dengan cepat dan mempunyai ketahanan yang luar biasa (Arif, 2011).

Bambu merupakan salah satu dari beberapa material atau bahan konstruksi yang sudah cukup lama dikenal di masyarakat. Sebagai material bangunan, bambu sangat mudah didapatkan tanaman rakyat ini dikenal pertumbuhannya sangat cepat, bambu dengan kualitas tinggi dapat diperoleh pada umur 2 sampai 5 tahun. (Morisco, 1999). Panennya pun cukup ramah lingkungan. Proses panen yang masih menyisakan rumpun bambu tidak mengganggu keseimbangan kondisi tanah sehingga erosi dapat dihindari.

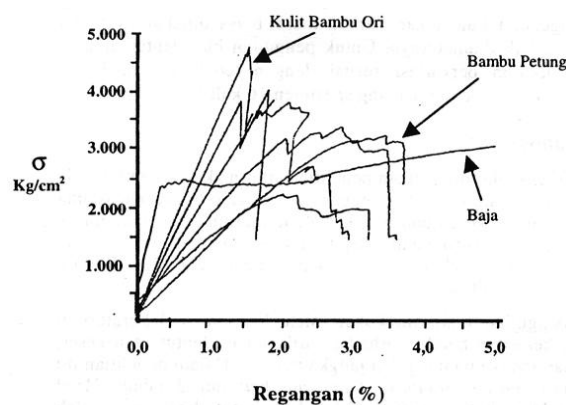
Beton didefinisikan sebagai campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03).

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 (Pathurahman, 2003).

DASAR TEORI

Bambu

Morisco (1999) dalam penelitiannya melakukan pengujian kekuatan tarik bambu yang dibandingkan dengan tulangan baja. Tulangan baja yang dipakai sebagai pembanding memiliki tegangan luluh sekitar 240 MPa yang mewakili tulangan baja yang banyak terdapat di pasaran. Penelitian itu menunjukkan bahwa kuat tarik kulit bambu Ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa dan kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja.



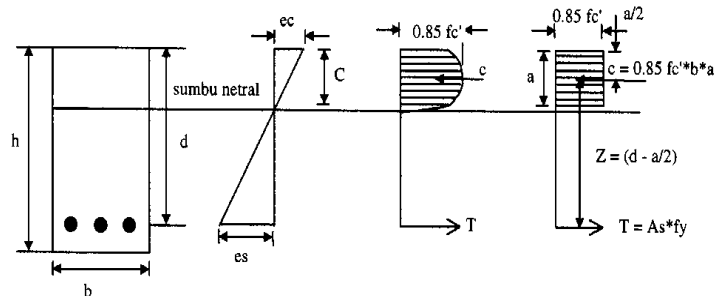
Gambar 1. Diagram tegangan-regangan bambu dan baja
Sumber: Morisco, 1999

Morisco (1999) juga meneliti perbedaan kekuatan antara bagian dalam bambu dan bagian luar bambu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa bambu bagian luar memiliki kekuatan lebih tinggi daripada bagian dalam, untuk spesimen bambu wulung kekuatan tarik bagian luarnya sebesar 237 MPa dan bagian dalamnya sebesar 96 MPa. Hal ini dapat terjadi karena 40% - 70% serat bambu terkonsentrasi di bagian luar batang (Ghavami, 2004).

Balok Beton Bertulang

Menurut Istimawan (1994), pendekatan dan pengembangan metode perencanaan kekuatan didasarkan atas anggapan-anggapan sebagai:

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.



Gambar 2. Tegangan beton yang disederhanakan menjadi tegangan kotak
Sumber : Istimawan (1994)

Kapasitas momen dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$a = \frac{(As \times fy)}{0,85 \times f'c \times b} \dots\dots\dots [1]$$

$$T = As \times fy \dots\dots\dots [2]$$

$$Mn_{\text{analisis}} = T \times (d - a/2) \dots\dots\dots [3]$$

$$Mr = \Phi \times Mn \dots\dots\dots [4]$$

Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 2.2.3 ayat 2, memberikan faktor reduksi kekuatan (Φ) untuk berbagai mekanisme:

- Lentur tanpa beban aksial = 0.80
- Geser dan Puntir = 0.60
- Tarik Aksial, tanpa dan dengan lentur = 0.80
- Tekan aksial, tanpa dan dengan lentur (sengkang) = 0.65
- Tekan aksial, tanpa dan dengan lentur (spiral) = 0.70
- Tumpuan pada beton = 0.70

Hitungan kapasitas lentur pengujian menggunakan konsep statika dimana *simple beam* dibebani dengan beban merata yang ditransformasikan menjadi beban terpusat sebesar $P/2$ pada sepertiga bentangnya.

$$Mu = \frac{1}{6} PL + \frac{1}{8} qL^2 \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan :

- a = Tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen
- T = Gaya tarik tulangan
- d = Tinggi efektif balok (mm)
- Mn = Momen nominal
- Mr = Kapasitas lentur hasil analisis
- Mu = Kapasitas lentur hasil pengujian
- Φ = Faktor reduksi
- P = Beban
- L = Panjang balok
- q = Berat sendiri balok

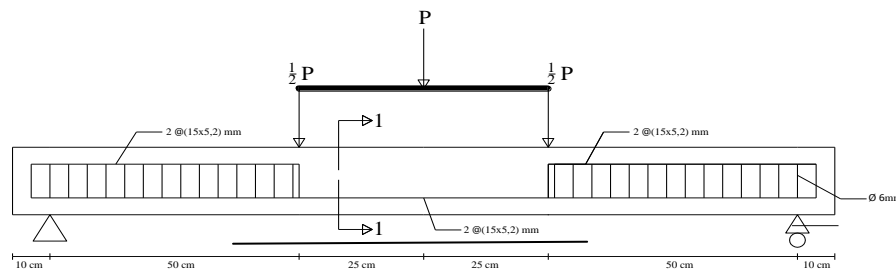
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pengujian terdiri atas dua tahap yaitu uji pendahuluan dan pengujian utama (uji kapasitas lentur balok).

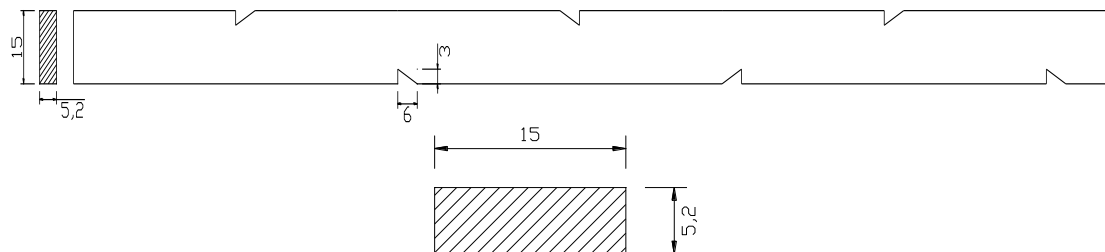
Uji pendahuluan meliputi pengujian karakteristik bambu (meliputi uji kadar air dan kerapatan, uji tarik, dan uji geser), uji bahan pembentuk beton (agregat halus dan agregat kasar), uji tarik baja, dan uji kuat desak beton. Benda uji untuk uji karakteristik bambu diambil dari bagian tengah batang bambu diambil secara acak tujuannya agar mendapatkan gambaran karakteristik bambu secara keseluruhan.

Perancangan campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini menggunakan metode perancangan cara Inggris (*The British Mix Design Method*) dan mengacu pada ASTM sebagai standar spesifikasi bahan pembentuk beton.

Benda uji utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa balok beton dengan dimensi panjang 1700 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 150 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *four point loading*. Tulangan baja polos yang digunakan berdiameter 10 mm. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu Wulung berumur di atas 2.5 tahun dalam kondisi kering udara dengan kadar air di bawah 30% yang berasal dari daerah Jatipuro, Karanganyar. Tulangan berdimensi panjang 1600 mm, lebar 15 mm, dan tebal 5.2 mm. Sepanjang sisi tulangan diberi takikan tidak sejajar dengan ukuran panjang 6 mm, kedalaman takikan 3 mm, dan jarak antar takikan 100 mm.



Gambar 3. Penulangan dan Pembebanan Balok



Gambar 4. Ilustrasi tulangan bambu petung dengan takikan tak sejajar

Alur Penelitian

Tahapan pembuatan benda uji balok:

- 1) Menyiapkan bambu Wulung
- 2) Bambu yang dipakai adalah bagian 30% daging bambu kearah kulit. Kemudian bambu dipotong dan dibentuk menjadi tulangan dengan dimensi panjang 1600 mm, lebar 15 mm, dan tebal 5.2 mm.
- 3) Tulangan bambu diberi takikan tidak sejajar pada kedua sisinya dengan dimensi panjang takikan 6 mm, kedalaman 3 mm, dan jarak antar takikan 100 mm.
- 4) Memasukan campuran beton normal hasil mix design ke dalam cetakan balok beton berukuran panjang 1700 mm, lebar 100 mm dan tinggi 150 mm.
- 5) Beri kode untuk setiap benda uji.

Tabel 1. Kode benda uji

Jenis Tulangan	Kode	Jumlah
Tulangan baja polos	BB	3
Tulangan bambu Wulung takikan tidak sejajar	BWT	3

- 6) *Curing* benda uji selama 21 hari kemudian didiamkan hingga kering udara sampai hari ke-28.
- 7) Balok beton diuji setelah 28 hari.

Tahapan pengujian kapasitas lentur balok:

- 1) Balok beton diletakkan pada loading frame, dan setting semua alat untuk pengujian.
- 2) Memasang pendistribusian beban melintang di atas balok beton bertulang dan disesuaikan dengan jarak pendistribusian beban yang direncanakan yaitu sepertiga bentang atau 0.5 m pada bentang tengah balok kemudian lakukan pembebanan.
- 3) Mencatat kenaikan angka pembebanan saat pengujian berlangsung.
- 4) Membaca dan mencatat nilai lendutan yang tertera pada *dial gauge*.
- 5) Mengamati retak yang terjadi pada balok.
- 6) Pembebanan dihentikan setelah mencapai pembebanan maksimum.
- 7) Melakukan langkah 1 sampai langkah 5 untuk benda uji beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik Tulangan

Pengujian kuat tarik tulangan dilakukan terhadap 5 buah sampel, baik tulangan baja maupun tulangan bambu. Hasil rata-rata kuat tariknya adalah sebagai berikut:

- 1) Kuat tarik tulangan baja, $f_y = 267.932$ MPa
- 2) Kuat tarik tulangan bambu wulung, $f_{prop} = 136.642$ MPa

Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan ketika beton mencapai 28 hari. Benda uji berupa 3 buah silinder beton. Kuat tekan rata-rata beton sebesar $f_c' = 16.411$ MPa.

Kuat Lentur Balok

Pengujian lentur dilakukan ketika balok beton mmencapai umur 28 hari. Hasil pengujian kapasitas lentur balok beton disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2. Beban dan lendutan pada saat balok mengalami keruntuhan lentur

Kode Benda Uji	Beban Saat Runtuh Lentur (N)	Lendutan (mm)
BB1	19500	10.6
BB2	20000	7.95
BB3	19000	7.16
BWT1	3200	3.95
BWT2	2340	3.65
BWT3	4300	4.19

Tabel 3. Beban dan lendutan pada pembebanan maksimum

Kode Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Lendutan Maksimum (mm)
BB1	24000	41.62
BB2	22000	17.53
BB3	19800	12.30
BWT1	5000	25.53
BWT2	4500	25.05
BWT3	6500	31.79

Tabel 4. Kapasitas Lentur Balok Hasil Pengujian

Benda Uji	Mu (kgm)
Balok Beton Tulangan Baja	497.625
Balok Beton Bertulangan Bambu Wulung dengan Takikan Tak Sejajar	92.125

Analisis Kuat Lentur Balok Bertulangan Baja dan Bambu Wulung Takikan Tidak Sejajar

Hitungan analisis penampang balok menggunakan persamaan [1] sampai [4]. Hitungan analisis untuk balok beton bertulangan baja menghasilkan nilai kapasitas lentur (Mr_{baja}) sebesar 366.7077 kgm.

Hitungan analisis untuk balok beton bertulangan bambu wulung menghasilkan nilai momen nominal (Mn_{bambu}) sebesar 155.7985 kgm. Kapasitas lentur balok beton bertulangan bambu wulung dapat dihitung setelah mencari nilai faktor reduksi kekuatan (Φ) untuk balok bertulangan bambu.

Faktor reduksi kekuatan (Φ_{bambu}) dihitung berdasarkan perbandingan faktor keamanan antara balok beton bertulangan baja dengan balok beton bertulangan bambu. Uraian hitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 SF_{baja} &= SF_{bambu} \\
 (=) \quad \frac{Mu_{baja}}{Mr_{baja}} &= \frac{Mu_{bambu}}{Mr_{bambu}} \\
 (=) \quad \frac{Mu_{baja}}{Mr_{baja}} &= \frac{Mu_{bambu}}{\phi \times Mn_{bambu}} \\
 (=) \quad \frac{497,625}{366,7077} &= \frac{92,125}{\phi \times 155,7985} \\
 (=) \quad 1,35701 &= \frac{92,125}{\phi \times 155,7985} \\
 (=) \quad 211.4196908 \times \Phi &= 92.125 \\
 (=) \quad \Phi_{bambu} &= 0.44
 \end{aligned}$$

Kapasitas lentur balok beton bertulangan bambu wulung dengan takikan tidak sejajar dihitung dengan mengalikan momen nominal (Mn_{bambu}) dengan faktor reduksi hasil hitungan di atas.

$$\begin{aligned}
 Mr_{bambu} &= \Phi_{bambu} \times Mn_{bambu} \\
 &= 0.44 \times 155.7985 \\
 &= 68.5513 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Kapasitas Lentur Balok Hasil Analisis

Benda Uji	Mr (kgm)
Balok Beton Tulangan Baja	366.7077
Balok Beton Bertulangan Bambu Wulung dengan Takikan Tak Sejajar	68.5513

Hasil pengujian benda uji balok beton dengan tulangan baja polos diameter 10 mm memperoleh nilai kapasitas lentur rata-rata sebesar 497.625 kgm dan dari hasil hitungan analisis sebesar 366.7077 kgm. Lendutan maksimum yang terjadi pada balok beton dengan tulangan baja adalah 41.62 mm.

Hasil pengujian benda uji balok beton dengan tulangan bambu wulung dengan takikan tidak sejajar memperoleh nilai kapasitas lentur rata-rata sebesar 92.125 kgm dan dari hasil hitungan analisis sebesar 68.5513 kgm. Lendutan maksimum yang terjadi pada balok beton dengan tulangan bambu wulung takikan tidak sejajar adalah 31.79 mm.

Nilai faktor reduksi kekuatan balok beton bertulangan bambu wulung (Φ) diambil sebesar 0.44. Hal ini karena selain mengalami mekanisme lentur tanpa aksial, tulangan bambu yang digunakan juga dapat mengalami kembang-susut, reaksi kimia dalam campuran beton dapat mempengaruhi kekuatan tulangan bambu, dan konsentrasi serat bambu yang belum tentu seragam.

SIMPULAN

- 1) Pada balok beton dengan tulangan bambu wulung dengan takikan tak sejajar, momen lentur hasil pengujian di laboratorium sebesar 92.125 kgm dan dari hasil hitungan analisis awal sebesar 68.5513 kgm. Beban maksimum (P_{maks}) yang mampu ditahan oleh balok sebesar 650 kg. Lendutan maksimum yang terjadi pada balok beton dengan tulangan bambu adalah 31.79 mm.
- 2) Pada balok beton dengan tulangan baja, kapasitas lentur hasil pengujian di laboratorium sebesar 493.458 kgm dan dari hasil hitungan analisis awal sebesar 366.7077 kgm. Beban maksimum (P_{maks}) yang mampu ditahan oleh balok beton dengan tulangan baja sebesar 2400 kg. Lendutan maksimum yang terjadi pada balok beton dengan tulangan baja adalah 41.62 mm.
- 3) Faktor reduksi kekuatan yang digunakan pada balok bertulangan bambu wulung takikan tak sejajar adalah 0.44.
- 4) Faktor reduksi pada balok bertulangan bambu bernilai lebih rendah daripada balok bertulangan baja. Hal ini karena tulangan bambu dapat mengalami kembang-susut, reaksi kimia dalam campuran beton dapat menurunkan kekuatan tulangan bambu, dan konsentrasi serat bambu yang belum tentu seragam.

REKOMENDASI

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan meninjau tipe takikan dan jarak antar takikan dengan jenis bambu yang lain.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada rekan tim uji tulangan bambu (Daeng R., Suryanto, Eka P., Hananto N., M. Bagus Putra, Toni H., Zainuddin I.) atas bantuan pelaksanaan penelitian dan kepada Agus Setiya Budi, ST., MT. dan Kusno Adi Sambowo, ST., Ph.D. sebagai pembimbing penelitian.

REFERENSI

- _____. 1991. *SK SNI T-15-1991-03 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan: Bandung.
- Arif Dwi N. 2011. *Kajian Kuat Lekat Tulangan Bambu Polos dan Tulangan Baja Polos pada Beton Normal dengan Variasi Jenis Bambu*. Universitas Sebelas Maret: Surakarta
- Ghavami, Khosrow. 2004. *Bamboo as reinforcement in structural concrete elements*. Universitas Katolik Pontificia. Rio de Janeiro, Brazil.
- Istimawan, D., 1994. "*Struktur Beton Bertulang*", PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Morisco, 1999, *Rekayasa Bambu*, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Pathurahman, Jauhar Fajrin. 2003. *Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok*. Civil Engineering Dimension, vol. 5, No.1.
- Setiyabudi, A. 2010. "Tinjauan Jenis Perikat pada Balok Laminasi Bambu terhadap Keruntuhan Lentur", Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Infrastruktur Dalam Menyikapi Bencana Alam", ISBN: 979-489-540-6, 1 Mei 2010.