

PERILAKU DAN KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERSERAT BAMBU

Agus Rivani* dan Shyama Maricar*

Abstract

The objective of this study was to know the behavior and flexural capacity of bamboo fiber concrete beams. The dimension of concrete beams were manufactured in 500 mm long, 100 mm deep and 100 mm wide, which consisted of bamboo fiber of 0.25%, 0.5 %, 0.75% and 1% in total weight fraction of normal concrete. One variation of another beam was manufactured in the form without bamboo fiber as comparator parameters. The bamboo fiber used in this experiment is Apus bamboo (*Gigantochloa Apus Kurz*) that were put randomly. The bending test was conducted with a four-point loading.

The result of research indicated that the fiber concrete beams have to influence the strength. Consequently, the maximum bending strength ratio of normal concrete beams to bamboo fiber concrete beams is 1: 1.314. This research identifies that the bending strength of fiber concrete beams was better compared to normal concrete beams.

Key words : Bamboo fiber, Concrete beam, Apus bamboo

Abstrak

Tujuan Penelitian studi adalah mengetahui perilaku dan kapasitas lentur balok beton yang memakai serat bambu. Ukuran benda uji balok beton yang telah dibuat adalah panjang 500 mm, tinggi 100 mm dan lebar 100 mm, yang mengandung serat bambu 0,25%, 0,5%, 0,75% dan 1% terhadap berat fraksi normal beton. Satu variasi lainnya dibuat tanpa serat bambu sebagai parameter pembanding. Serat bambu yang digunakan dalam eksperimen ini adalah jenis Bambu Apus (*Gigantochloa Apus Kurz*) yang diambil secara acak. Uji bending telah dilakukan dengan empat titik pemberatan.

Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan serat bambu pada balok beton berpengaruh pada regangannya. Rasio regangan bending maksimum balok beton normal terhadap balok beton serat bambu adalah 1: 1,314. Penelitian ini menunjukkan bahwa regangan bending dari balok dengan serat bambu adalah lebih baik dibanding dengan balok beton normal.

Kata Kunci : Serat Bambu, Balok Beton, Bambu Apus

1. Pendahuluan

Pemanfaatan sumber daya alam yang tidak seimbang, menimbulkan fenomena yang cukup menarik untuk diteliti. Bahan-bahan yang unggul mendapatkan prioritas utama dalam penerapannya sebagai bahan bangunan, sehingga mengakibatkan ketersediaannya menjadi terbatas dan mahal.

Bambu sebagai salah satu bahan bangunan relatif jarang digunakan dibanding dengan bahan bangunan lainnya. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain: mudah diserang serangga, mudah terbakar, *finishing* dan nilai estetikanya kurang diminati. Namun demikian, terdapat beberapa kelebihan yang tidak dapat diabaikan antara lain: kuat

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

tarik yang relatif tinggi, pertumbuhannya cepat dan mudah dibudidayakan.

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan juga telah lama dikenal. Beton memiliki beberapa kelebihan antara lain: kuat desaknya relatif tinggi, mudah dibentuk sesuai keinginan, perawatannya murah dan dapat dikombinasikan dengan bahan lain. Di sisi lain, beton memiliki sifat yang getas (*brittle*), sehingga secara praktis kemampuan untuk menahan tegangan tarik relatif kecil.

Berbagai penelitian terus dilakukan hingga kini, namun pemakaian serat alam dalam campuran beton kurang memuaskan. Sifat kembang-susut material telah menjadi salah satu hambatan dalam menggabungkan dua atau lebih material yang berbeda. Bentuk serat yang relatif kecil dan tipis diharapkan mampu meminimalkan masalah kembang susut dalam campuran beton.

Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan beberapa sifat-sifat mekanik yang dapat diperbaiki dengan serat antara lain: daktilitas, serapan energi, ketahanan kejut, kapasitas lentur dan geser, ketahanan lelah (*fatigue*) dan sebagainya.

Dalam rangka memperbaiki sifat-sifat yang ada dalam beton tersebut, maka salah satu cara adalah dengan menambahkan serat atau fiber. Perbedaan karakteristik serat dalam campuran beton tentu menimbulkan perilaku yang beragam, sehingga dalam penelitian ini secara khusus membahas perilaku dan kapasitas lentur balok beton berserat bambu agar dapat menunjang wawasan keilmuan dan penerapannya dalam struktur beton berserat. Dengan demikian, beton berserat bambu sudah selayaknya dapat memberikan sebuah inovasi dan diversifikasi bahan bangunan di masyarakat.

Dalam penentuan formula berkaitan dengan tata cara perhitungan struktur beton, umumnya diperoleh melalui suatu analisis pendekatan yang bersifat empirik. Konsekuensi cara analisis seperti ini akan berlaku pada bahan tertentu saja. Penambahan bahan lain khususnya serat alam dalam beton normal tentu memiliki cara analisis tersendiri. Penambahan serat dalam proporsi tertentu kemungkinan dapat mempengaruhi perilaku struktur beton secara keseluruhan. Pengaruh perubahan ini perlu diteliti untuk memberikan informasi yang tepat mengenai perilaku dan kapasitas beton berserat bambu.

Berdasarkan hal tersebut, ada beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Menemukan proporsi serat yang efisien dalam campuran beton.
- 2) Mendeskripsikan cara pembuatan balok beton berserat bambu.
- 3) Mendeskripsikan hasil pengujian sifat fisika dan mekanika masing-masing bahan uji.
- 4) Menguraikan cara analisis yang sesuai, akibat kemungkinan perubahan perilaku dalam kombinasi beton dan serat bambu.
- 5) Mendeskripsikan perilaku dan kapasitas lentur balok beton akibat penambahan serat bambu.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Bambu

Bambu merupakan tanaman berumpun yang pertumbuhannya sangat cepat. Pada masa pertumbuhan, beberapa spesies tertentu dapat tumbuh hingga 1 meter per hari [1]. Kebanyakan para ahli tumbuhan menempatkannya dalam rumpun *Bambuseae* termasuk dalam keluarga rumput (*Gramineae*). Menurut Sharma (1987), sekarang telah tercatat lebih dari 75 genera dan 1250 spesies bambu di seluruh dunia.

Penggunaan bambu sebagai elemen struktur memerlukan informasi yang tepat berkaitan dengan sifat fisika, mekanika dan mikro-strukturalnya. Sifat-sifat penting tersebut dapat diperoleh melalui identifikasi, penyelidikan dan pengujian. Beberapa sifat yang berkaitan erat dengan hal tersebut, secara umum dapat diuraikan sebagai berikut:

- **Anatomi bambu**

Sifat dari batang bambu ditentukan oleh struktur anatominya. Batang bambu terdiri atas nodia dan internodia. Pada internodia, sel-sel berorientasi pada arah aksial, sedangkan pada nodia sel-sel melintang pada tiap sambungannya. Bagian luar batang dibentuk oleh dua lapisan sel epidermis, bagian dalamnya lebih tebal dan sangat tinggi kadar *lignin*-nya. Permukaan sel yang paling luar dilindungi oleh lapisan selaput berupa lapisan lilin. Disamping itu, bagian dalam batang terdiri dari sel-sel *sclerencyma* [6]. Perbedaan anatomi ini akan mempengaruhi kekuatan bambu sesuai dengan jenisnya masing-masing.

- **Sifat fisika bambu**

Bambu sebagai salah satu komponen bahan bangunan, sangat rentan terhadap perubahan bentuk/deformasi. Perubahan ini antara lain disebabkan oleh temperatur dan kelembaban, sehingga mengakibatkan terjadinya sifat kembang dan susut pada bambu. Beberapa peneliti telah melakukan pengukuran kadar air bambu *Apus*, bambu *Ori*, bambu *Petung* dan bambu *Apus*. Spesimen diambil dari pangkal, tengah dan ujung. Pengujian kembang susut bambu yang dilaksanakan adalah kembang susut volume tulangan keseluruhan, yang merupakan kombinasi antara kembang susut radial dan tangensial. Kondisi tersebut dianggap sebagai keadaan yang mendekati aplikasi bambu sebagai tulangan beton [8].

- **Sifat mekanika bambu**

Keragaman spesies dan habitat bambu berimplikasi pada perbedaan sifat penampangnya. Konsekuensinya, beberapa parameter yang mempengaruhi sifat mekanikanya perlu diidentifikasi dan diuji. Sifat mekanika bambu meliputi: kuat lentur (*bending*), kuat tekan (*compression*), kuat geser (*shear*), kuat tarik (*tension*), puntir (*torsion*), elastisitas (*elasticity*), pemuaian panas (*thermal expansion*) dan lain-lain [9].

2.2 Beton serat

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari agregat dan terbungkus oleh matrik semen yang mengisi ruang diantara partikel-partikel, sehingga membentuk satu kesatuan. Berdasarkan kekuatan tekannya, beton dibagi menjadi tiga klasifikasi yaitu beton normal, kinerja tinggi dan kinerja sangat tinggi [7].

Beton serat dapat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari semen *portland* atau bahan pengikat hidrolis lainnya yang ditambah dengan agregat kasar dan halus, air dan diperkuat dengan serat [4].

Beberapa jenis serat yang biasa dipakai untuk campuran beton dapat dibedakan menjadi 4 jenis serat yaitu [2] :

- (1) Serat logam, misalnya serat besi dan *stainless steel*.
- (2) Serat polymeric, misalnya serat *polypropylene* dan serat *nylon*.
- (3) Serat mineral, misalnya *fiberglass*.
- (4) Serat alam, misalnya: serabut kelapa dan serabut nenas.

3. Metode Penelitian

3.1 Lokasi dan Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Laboratorium ini digunakan sebagai tempat pembuatan benda uji dan pengujian balok beton berserat

bambu. Selain itu, Laboratorium Model dan Bentuk digunakan sebagai tempat penyiapan serat bambu serta Laboratorium Politeknik sebagai tempat pengujian sifat mekanika bahan, khususnya uji tarik serat bambu.

Adapun penelitian ini dilakukan sesuai bagan alir dalam Gambar 1.

4.2 Pelaksanaan Penelitian

- Persiapan bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Serat bambu

Serat bambu yang digunakan dalam penelitian adalah dari jenis Bambu Apus yang diperoleh dari daerah Pantai Barat, Kecamatan Balaesang, Kabupaten Donggala.

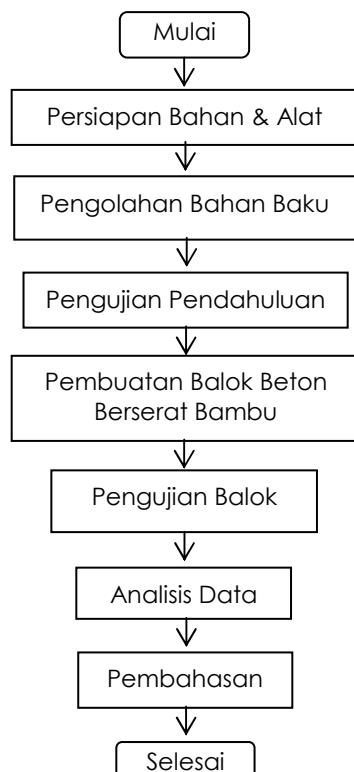
Pemilihan batang bambu didasarkan pada umur kurang lebih 3 tahun. Setelah ditebang, lapis bagian dalam bambu diserut dan dibuat dalam bentuk bilah dengan panjang rata-rata 200 cm.

- b. Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi kerikil dan pasir yang diperoleh dari Ex. sungai Palu.

- c. Semen Portland (*portland cement*)

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen tipe I merek Tonasa yang tersedia di pasaran.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

d. Air

Air yang digunakan adalah air yang telah memenuhi syarat untuk pengujian.

Adapun peralatan penelitian dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu:

1) Peralatan pembuatan benda uji

- a. Mesin penghalus (*planner*) digunakan untuk menghaluskan permukaan serat bambu hingga mencapai ketebalan yang diinginkan.
- b. Molen digunakan untuk mencampur bahan susun beton.
- c. Kaliper digunakan untuk mengukur dimensi benda uji dengan ketelitian 0,05 mm.
- d. *Slump test set* digunakan untuk pengujian *slump*.
- e. Oven digunakan untuk proses pengeringan bahan.
- f. Timbangan meja yang bekerja secara digital dengan ketelitian 0,001 gram digunakan untuk menimbang berat bahan.
- g. Alat-alat pelengkap lainnya, antara lain: roll-meter, batang pemedat (*stick*), gergaji tangan, mistar siku, parang, pahat dan cutter.

2) Peralatan pengujian

- a. Mesin pengujian mekanik *Universal Testing Machine (UTM)* dipergunakan untuk pengujian sifat mekanika balok. Mesin *UTM* yang dipergunakan memiliki kapasitas 15 ton.
- b. Alat pembaca lendutan (*dial gauge*) dengan ketelitian sampai 0,01 mm untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi saat pembebangan.

• Pengolahan Bahan Baku

Serat bambu dipersiapkan sesuai dengan kebutuhan benda uji yang ditetapkan. Dengan menggunakan mesin belah, lembaran bambu

dibelah sesuai kebutuhan dengan lebar 70 mm.

Serat bambu untuk sampel balok ini diambil pada bagian kulit atau strip lapis luar (*outer layer*) dengan cara menyerut lapis dalam (*inner layer*) dan lapis tengah (*middle layer*) hingga mencapai ketebalan 0,5 mm dengan mesin penghalus (*planner*).

Bentuk dan dimensi serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah persegi panjang dengan ukuran 2 mm x 0,5 mm x 60 mm. Proses untuk mendapatkan dimensi serat tersebut harus melalui proses penggeraan yang cukup rumit, karena peralatannya belum memadai. Adapun proses penggeraannya dilakukan dengan menggunakan alat-alat pertukangan yang umum digunakan.

• Pengujian Pendahuluan

Dalam penentuan kadar serat maksimum yang akan ditambahkan dalam adukan ditentukan dengan melakukan pengujian *slump*. Semakin besar kadar serat yang ditambahkan, maka *workability* akan menjadi menurun. Hal ini akan menyulitkan pemedatan dan dapat menyebabkan beton menjadi keropos.

Berdasarkan hasil uji pendahuluan, kadar serat maksimum yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebanyak 1% dari berat benda uji beton normal. Selain itu untuk kemudahan distribusi serat dalam campuran, maka panjang serat diambil 60% dari lebar balok uji.

• Pembuatan Balok Beton Berserat Bambu

Benda uji balok "Beton Berserat Bambu" dalam penelitian ini disingkat B3 (*Triple B*), sedangkan Beton Biasa disingkat BB. Benda uji berupa balok berserat bambu dibuat 5 variasi dengan ukuran lebar (*b*) 100 mm, tinggi (*h*) 100 mm dan panjang (*l*) 500 mm. Setiap variasi dibuat 3 buah benda uji, sehingga keseluruhan

benda uji berjumlah 15 buah sebagaimana tercantum dalam Tabel 1.

Pembuatan balok beton berserat bambu ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Tahap persiapan

Serat bambu yang telah dipersiapkan sebelumnya dipilih dan disortir dari cacat dan telah kering udara (mempunyai kadar air sekitar 12%) serta dibersihkan dari bahan-bahan yang tidak diperlukan. Panjang serat diambil 60 mm, lebar 2 mm dan tebal 0,5 mm. Bahan-bahan lainnya seperti semen, agregat, air juga telah disiapkan dan telah dilakukan uji pendahuluan untuk mendapatkan data-data karakteristik material yang diperlukan.

b. Tahap perencanaan campuran beton

Perencanaan campuran beton normal dilakukan mengikuti metode ACI. Adapun komposisi campuran yang digunakan dalam eksperimen ini disajikan dalam Tabel 2. Untuk pengujian kuat tekan dibuat sampel beton silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan untuk pengujian kuat lentur menggunakan sampel

balok dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 50 cm.

c. Tahap pembuatan adukan beton

Pembuatan adukan yang dilakukan dalam eksperimen ini dapat diuraikan (sesuai urutan pengerjaannya) sebagai berikut:

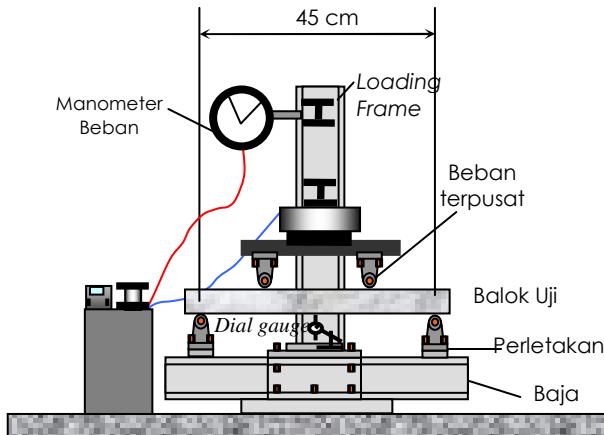
- 1) Bahan-bahan yang telah disiapkan ditimbang beratnya sesuai dengan komposisi campuran yang telah ditetapkan.
- 2) Bahan-bahan tersebut dimasukkan satu persatu kedalam alat pengaduk/molen (concrete mixer) yang masih berputar secara hati-hati dan dibiarkan tercampur merata selama kurang lebih 5 menit. Dalam proses pencampuran serat kedalam adukan diusahakan sedemikian rupa, sehingga diharapkan tidak terjadi balling atau penggumpalan serat.
- 3) Sebelum adukan beton segar dituang kedalam cetakan, terlebih dahulu dilakukan pengujian *slump*, agar diketahui tingkat kekentalan campuran yang merupakan salah satu parameter *workability*. Untuk setiap variasi campuran, nilai *slump*-nya dites dan dicatat.

Tabel 1. Dimensi dan variasi balok uji

Kode B.u	Ukuran Balok bxhxl (mm ³)	Volume Serat (%)	Distribusi Serat	Jumlah B.u
BB	100 x 100 x 500	0	Tanpa serat	3
B3-025	100 x 100 x 500	0,25	Random	3
B3-050	100 x 100 x 500	0,50	Random	3
B3-075	100 x 100 x 500	0,75	Random	3
B3-100	100 x 100 x 500	1,00	Random	3
Jumlah Benda Uji				15

Tabel 2. Komposisi campuran beton normal permeter kubik

Kode B.u	Serat (kg)	Kasar (kg)	Halus (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Total (kg)
BB	0	957,44	724,67	408,89	184	2.275



Gambar 2. Setting up pengujian lentur balok

- 4) Setelah itu adukan beton segar dipindahkan kedalam cetakan menggunakan sendok adukan. Penuangannya dilakukan secara berlapis hingga terisi penuh. Tebal lapisan diperkirakan sekitar 1/3 dari tinggi benda uji. Tiap lapisan yang terbentuk dilakukan pemanjat secara merata menggunakan batang pemanjat dari baja dengan jumlah tusukan 25 kali. Setelah pemanjatan selesai, sisi cetakan diketuk secara perlahan-lahan dengan palu karet, agar rongga bekas tusukan tertutup. Tiap sampel balok uji harus diberikan perlakuan yang sama untuk mendapatkan keakuratan data uji.
- 5) Kemudian masing-masing sampel di beri tanda untuk identifikasi, dicatat tanggal pengecorannya serta diletakkan pada tempat yang bebas dari pengaruh getaran. Selanjutnya sample balok tersebut dibiarkan mengering selama \pm 24 jam.
- 6) Setelah kering balok tersebut dipisahkan dari cetakan dan direndam dalam bak perendam yang berisi air pada temperatur normal (sekitar 25°C) untuk proses pematangan (curing) selama jangka waktu yang telah ditetapkan.

d. Tahap Finishing

Sampel balok yang telah mencapai umur betonnya (dalam penelitian ini umur 21 hari), kemudian diberi tanda pada daerah beban, tumpuan dan titik penempatan dial gauge. Selanjutnya dilakukan pemberian kode balok, pengukuran dimensi dan berat aktualnya untuk dimasukkan dalam daftar identifikasi akhir. Setelah semua proses yang diuraikan diatas selesai, maka balok siap untuk diuji.

- Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengujian balok beton dilakukan dengan asumsi tumpuan sederhana (sendi-rol). Prosedur pengujian dilaksanakan sesuai ASTM-C78-84 dengan kecepatan pembebahan 4,3 kN per menit. Dalam pengujian ini, balok dibebani hingga runtuh tanpa dipengaruhi oleh efek kejut. Pemberian beban terpusat P diuraikan menjadi dua beban terpusat sebesar $\frac{1}{2}P$ pada $1/3$ bentang kiri dan kanan tumpuan atau dengan sistem empat titik pembebahan (*four point loading*). Penekangan samping dilakukan untuk mencegah adanya pengaruh tekuk torsi lateral. Sebelum digunakan, semua alat dikalibrasi untuk menjamin keakuratan hasil pengukuran. Adapun *setting up* pengujian lentur balok seperti terlihat pada Gambar 2.

Pengujian sampel balok beton dilakukan dengan memberikan beban awal dari nol sampai sebesar 10% dari perkiraan beban maksimum yang dapat dicapai masing-masing balok, kemudian beban diturunkan secara perlahan hingga posisi nol. Perlakuan ini dimaksudkan agar diperoleh pembacaan jarum penunjuk *dial gauge* berada pada posisi nol pada saat pembebahan nol. Hal ini bertujuan untuk mengontrol pembacaan *dial gauge*, posisi tumpuan dan benda uji serta komponen pembebahan telah bekerja dengan baik.

Pembebahan selanjutnya dilakukan secara bertahap dengan penambahan beban setiap interval 0,5 kN. Pada setiap tahap pembebahan, lendutan yang terbaca pada *dial gauge* dicatat. Selain itu, besarnya beban puncak dan beban runtuh juga dicatat serta diamati pola kerusakan balok dan diberi tanda. Cara dan prosedur yang sama dilakukan untuk semua sampel balok uji lainnya.

- Analisis data

Nilai kekuatan lentur maksimum dikalkulasi berdasarkan teori lentur sederhana dengan *four point loading* sesuai *setting up* pengujian. Perhitungan patahnya benda uji di daerah pusat pada $1/3$ jarak titik perletakan dari bagian tarik beton, kuat lentur beton dihitung dengan rumus :

$$f_{\text{lentur}} = \frac{PL}{bh^2} \quad \text{atau} \quad f_{\text{lentur}} = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Keterangan:

f_{lentur} = kuat lentur maksimum benda uji (MPa);

P = beban maks. dari pembacaan mesin uji (N);

L = jarak antara dua titik perletakan (mm);

b = lebar rata-rata tampang lintang balok (mm);

h = tinggi rata-rata tampang lintang balok (mm);

a = jarak antara beban terpusat dan tumpuan (mm).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Nilai Slump

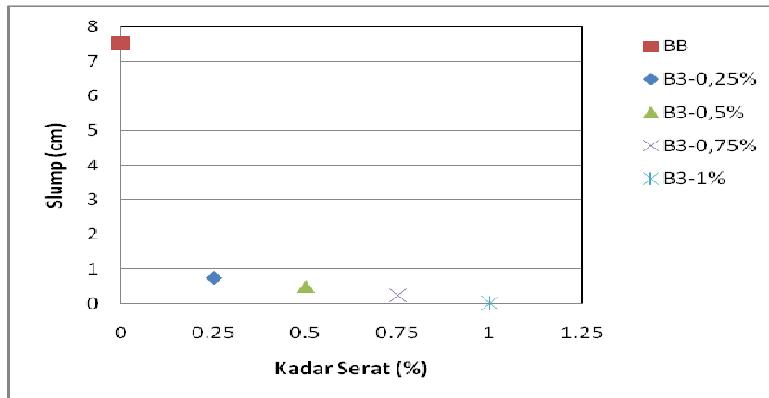
Salah satu cara yang dapat ditempuh dalam menentukan kadar serat maksimum yang dapat ditambahkan dalam adukan beton adalah dengan melakukan pengujian *slump*. Hasil uji *slump* menunjukkan bahwa kadar serat maksimum yang dapat diambil dalam pengujian ini adalah sebanyak 1% dari berat campuran beton normal atau sesuai komposisi campuran yang tertera dalam Tabel 1.

Untuk kemudahan distribusi serat dalam campuran, maka panjang serat telah ditetapkan sebesar 60% dari lebar tampang balok uji. Pada Gambar 3 terlihat bahwa semakin besar kadar serat yang ditambahkan, maka *workability* akan menjadi menurun.

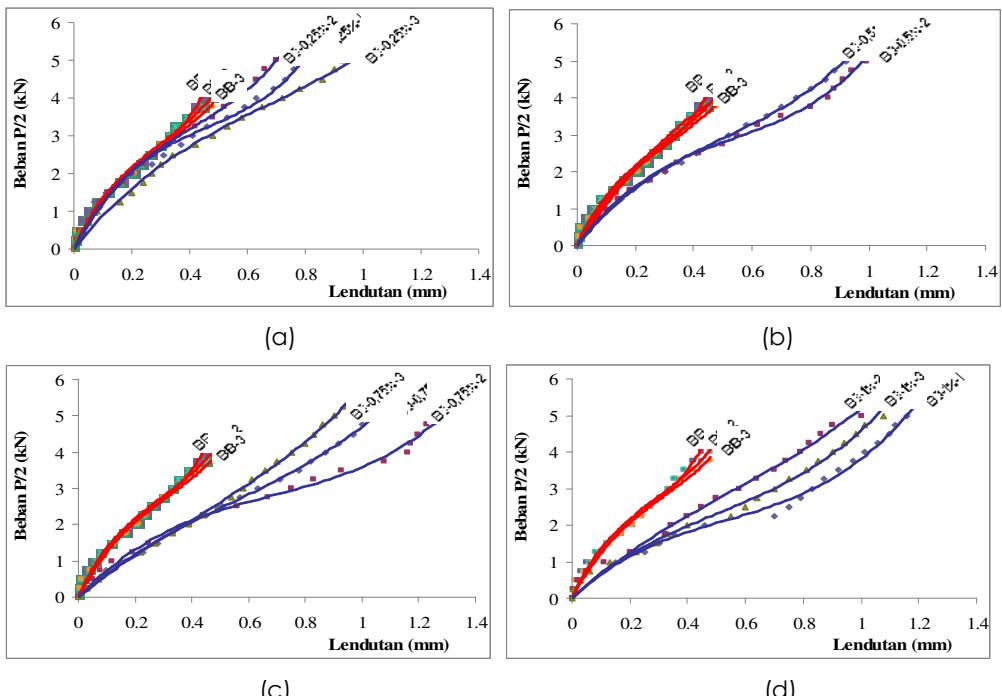
4.2 Kekuatan Balok Beton Berserat bambu

Hasil pengujian balok beton berserat bambu menghasilkan grafik hubungan antara pembebasan dan lendutan sebagaimana disajikan dalam Gambar 4.(a) sampai (d). Grafik

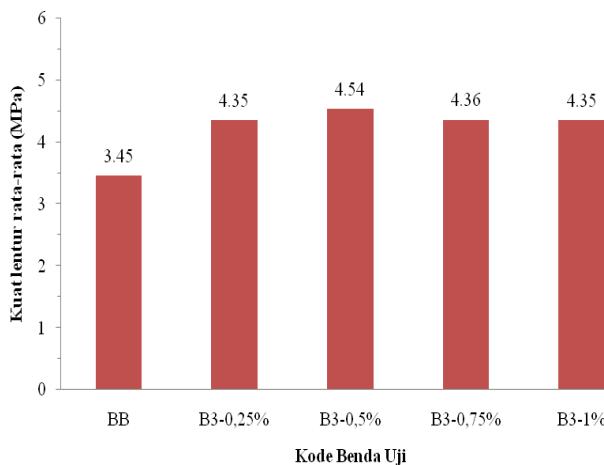
tersebut memperlihatkan bahwa penambahan serat bambu dengan proporsi tertentu dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas balok secara signifikan.



Gambar 3 Grafik hubungan nilai *slump* dan kadar serat balok uji



Gambar 4.(a) – (d). Grafik hubungan beban dan lendutan balok uji pada berbagai kadar serat



Gambar 5. Kuat lentur balok uji

Table 3. Hasil analisis varians (ANOVA) untuk kuat lentur balok uji

	Jumlah Kuadrat	df	Rata-rata Kuadrat	F*	Sig.
Antar Kelompok	2,11134	4	0,5278	14,7577 ^s	0,0005
Dalam Kelompok	0,3219	9	0,0358		
Total	2,43324	13			

Catatan: * 0.05 Level of significance, ^s shows significant effect or interaction

Pada gambar 4.(a) terlihat bahwa penambahan serat kulit bambu sebesar 0,25% pada campuran beton normal telah mengakibatkan terjadinya peningkatan kapasitas kekuatan balok beton secara signifikan. Peningkatan kekuatan tersebut diiringi oleh peningkatan daktilitasnya.

Penambahan serat sebesar 0,5% pada campuran beton normal [Gambar 4.(b)] semakin memperjelas peningkatan kekuatan dan daktilitasnya. Peningkatan kekuatan maksimum telah dicapai oleh balok ini. Nilai persentase ini sekaligus merupakan kadar optimum dari penambahan serat bambu yang didistribusikan secara acak dalam pengujian ini.

Penambahan serat bambu sebanyak 0,75% dan 1% dari berat

campuran beton normal [Gambar 4.(c) dan (d)] telah mengakibatkan terjadinya penurunan kekuatan pada balok uji. Namun demikian, kemampuan lendutannya masih dapat dipertahankan secara signifikan. Penurunan kekuatan yang terjadi pada balok uji tersebut dapat disebabkan oleh berkurangnya workabilitas campuran. Hal ini telah dibuktikan dengan hasil pengujian *slump* sebelumnya. Dampak dari rendahnya workabilitas ini adalah relatif sulitnya melakukan pemadatan campuran pada balok uji tersebut. Pada kondisi ini, sebagian serat telah menghalangi proses masuknya agregat untuk mengisi rongga-rongga yang terbentuk dalam campuran beton.

Pada penambahan kadar serat lebih dari 0,5% teridentifikasi bahwa

balok uji mulai menjadi keropos. Hal ini akan mengurangi kapasitas tampang nominal balok dan mengakibatkan berkurangnya kemampuan balok dalam mendukung pembebaran yang terjadi.

Berdasarkan hasil analisis data uji, persentase peningkatan kekuatan rata-rata balok beton berserat bambu terhadap balok beton normal adalah berkisar antara 30% sampai 34%. Penambahan serat bambu ini telah mengurangi sifat kegetasan yang terdapat dalam beton biasa/normal (BB).

4.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok

Salah satu sifat mekanik penting yang telah dianalisis dari pengujian ini adalah kuat lentur. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai pengaruh penambahan serat bambu terhadap karakteristik beton, maka berikut ini disajikan hasil pengujian kuat lentur sebagaimana terlihat dalam Gambar 5.

Berdasarkan hasil analisis, rasio maksimum kuat lentur beton normal terhadap beton berserat bambu adalah 1: 1,314 dengan nilai kuat lentur maksimum sebesar 4,54 MPa pada kadar serat 0,5%. Nilai persentase kadar serat ini sekaligus merupakan kadar optimum dari penambahan serat bambu.

Analisis varians (Anova) selanjutnya dilakukan untuk menunjukkan bahwa kekuatan lentur tersebut signifikan atau tidak. Hasil analisis varians disajikan dalam Tabel 3.

Nilai F adalah lebih besar dari F_{kritis} yang berasal dari tabel F dengan $F_{0,05;4:9}$ untuk hubungan tersebut di atas. Hasil ini memberikan kesimpulan bahwa kuat lentur yang terjadi akibat penambahan serat dapat memberikan pengaruh yang beda nyata.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dalam tulisan ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

- a. Peningkatan kekuatan rata-rata balok beton berserat bambu terhadap beton normal dalam penelitian ini adalah 30% sampai 34%. Penambahan serat bambu ini telah mengurangi sifat kegetasan yang terdapat dalam beton biasa/normal (BB).
- b. Hasil analisis varians (Anova) terhadap kuat lentur balok uji menunjukkan peningkatan yang signifikan. Rasio maksimum kuat lentur beton normal terhadap beton berserat bambu adalah 1 : 1,314 dengan nilai kuat lentur maksimum sebesar 4,54 MPa pada kadar serat 0,5%. Nilai persentase kadar serat ini sekaligus merupakan kadar optimum dari penambahan serat bambu yang didistribusikan secara acak dalam pengujian ini.

6. Daftar Pustaka

Anonim, 2007, American Bamboo Society
<http://www.americanbamboo.org/> Diakses 09 September 2007.

Balagaru, P. and Shah, S.P., 1992, *Fibre Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill, Singapore.

Elizabeth, L. dan Adams, C., 2000, *Alternative Construction: Contemporary Natural Building Methods*, Version Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Hannant, D.J., 1978, *Fibre Cements and Fibre Concretes*, John Wiley & Sons, New York.

Janssen, J.J.A., 1981, *Bamboo in Building Structures*, Ph.D. Thesis, University of Technology of Eindhoven, Netherland.

Liese, W., 1985, *Bamboos Biology, Silvics Properties, Utilization, Gessellschaft fur Technische Zusammenarbeit Schriftenreihe*, Reihe, Eschborn.

Malier, Y., 1992, *High Performance Concrete, From Material To Structure*, E & FN Spon, London.

Morisco, 2002, *Struktur Kayu dan Teknologi Bambu*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Rivani, A., 2005, *Pengaruh Jenis Sambungan Balok Beton berserat bambu Galar Bambu Wulung Terhadap Keruntuhan Geser*, Tesis S2, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta. (tidak dipublikasikan).