

EXPERIMENTAL STUDY ON SPLITTING TEST ON LIGHT WEIGHT CONCRETE USING BAMBOO FIBER AS AGGREGATE

by M. Heri Zulfiar^a and M. Riang Endarto^a

ABSTRACT

Static load of construction element is the most general problem at civil construction design, the use of bamboo as substitution of aggregate is the one of solution to reduce unit weight and static load of construction element. Based on consideration of structure analysis, bamboo is suitable as alternative of construction material. Focus of the research is type of bamboos fiber that used as concrete mix. The research observations consist of unit weight, compressive and cracking strength using flowing concrete method. The research using bamboos fiber at proportion 0/100% (Normal), 20/80%, 40/60%, 60/40%, 80/20% and 100/0% of conventional aggregate. The specimens shape is concrete cylinder (15 cm diameter and 30 cm height) and specimen identification and cracking strength be perform after 14 days treatment. The result of reasearch indicate decrease of cracking strength and non linier relationship strength-strain characteristic.

KEYWORDS: *bamboos fiber; cracking strength; construction material; lightweight concrete.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material, khususnya teknologi beton, telah membuka gagasan pada pemanfaatan material organik sebagai bahan penyusun maupun bahan tambah. Pemakaian bahan organik dimaksudkan untuk meminimalisir dampak sifat beton yang kurang baik, di antaranya berat jenis yang cukup tinggi sehingga akan menimbulkan efek pembebanan akibat beratnya sendiri.

Merujuk pada sifat-sifat material organik khususnya bambu, terdapat beberapa permasalahan, di antaranya kemampuan bambu mengembang atau menyusut yang cukup tinggi akibat penyerapan air dan sangat lemah terhadap ekspose lingkungan yang ekstrim. Sifat serapan air yang cukup tinggi tersebut apabila dipakai sebagai material penyusun beton, dikhawatirkan menyebabkan volume bambu akan berekspansi pada saat proses hidrasi pasta semen, sehingga menyebabkan beton menjadi retak.

Untuk mengantisipasi permasalahan tersebut, pada penelitian ini akan dikembangkan metode *flowing concrete* dengan menambahkan bahan *additive* tipe C (*superplastisizer Viscocrete-10*) pada campuran beton yang akan memungkinkan beton memiliki nilai *slump* yang tinggi dan mampu memadat dengan sendirinya (*self compacting*), namun memiliki waktu ikat awal cepat sehingga beton lebih cepat mengeras. Kemampuan beton mengalami hidrasi awal akan menghambat ekspansi volume agregat bambu, sehingga beton yang dihasilkan lebih baik. Metode *flowing concrete* ini akan dipakai dalam proses produksi beton.

Pertimbangan-pertimbangan tersebut mengantar pada suatu analisis dan pemikiran untuk merencanakan produksi beton dengan metode *flowing concrete* dengan pemakaian agregat bambu dan bahan *additive Viscocrete*

10 dalam satu sistem komposit beton ringan, dengan orientasi mereduksi berat jenis, meningkatkan kuat tarik, menambah ketahanan terhadap retak, meningkatkan daktilitas dan ketahanan beton terhadap beban kejut (*impact load*).

Beton ringan adalah beton yang tersusun atas agregat ringan. Agregat ringan yang digunakan umumnya merupakan hasil produksi pembakaran (batu bara, *slag*, lempung dan lain-lain). Berat jenis agregat rata-rata 1900 kg/m³ atau berdasarkan kepentingan strukturnya berkisar antara 1440 kg/m³ sampai 1850 kg/m³, dengan kekuatan tekan rata-rata pada umur 28 hari lebih besar dari 17,2 MPa.¹

Menurut Tjokrodinuljo², terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi berat jenis beton atau membuat beton lebih ringan, antara lain:

1. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambah bubuk aluminium ke dalam campuran adukan beton.
2. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung atau agregat buatan, sehingga beton yang dihasilkan akan lebih ringan dari pada beton biasa.
3. Dengan cara membuat beton tanpa menggunakan butir-butir agregat halus atau pasir yang disebut beton non pasir.

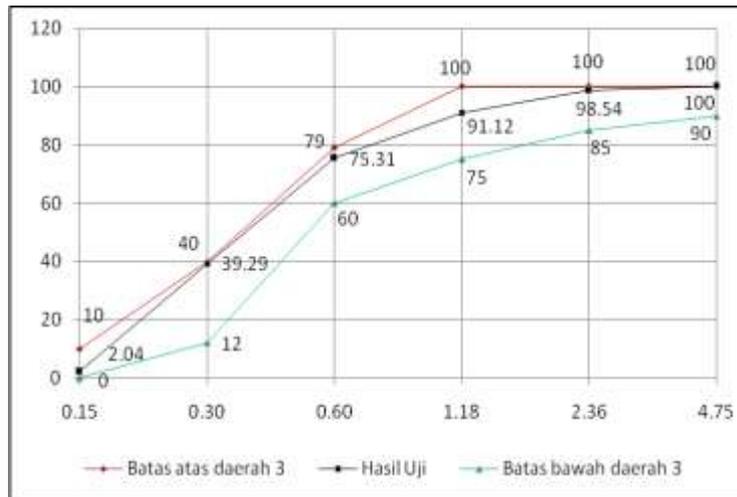
Tambah lagi, secara garis besar telah membagi penggunaan beton ringan menjadi dibagi tiga, yaitu:²

1. Untuk nonstruktur dengan berat jenis antara 240 kg/m³ sampai 800 kg/m³ dan kuat tekan antara 0,35 – 7 MPa, yang umumnya digunakan untuk dinding pemisah atau dinding isolasi.
2. Untuk struktur ringan dengan berat jenis antara 800 kg/m³ sampai 1400 kg/m³ dan kuat tekan antara 7 – 17 MPa, yang umumnya digunakan untuk dinding yang juga memikul beban.
3. Untuk struktur dengan berat jenis antara 1400 kg/m³ sampai 1800 kg/m³ dan kuat tekan lebih dari 17 MPa, yang dapat digunakan sebagaimana beton normal.

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai kepadatan sekitar 300 – 1850 kg/m³. Agregat ringan

^aLecturer in the Department of Civil Engineering, Faculty Engineering, Muhammadiyah University of Yogyakarta, Indonesia.

Note. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on April 15, 2011. Discussion open until May 2012. This paper is part of the ITS Journal of Civil Engineering, Vol. 31, No. 1, May 2011. © ITS Journal of Civil Engineering, ISSN 2086-1206/2011.



Gambar 1. Hasil Pengujian Gradasi Pasir



Gambar 2. Material agregat kasar bambu

biasanya digunakan atas pertimbangan ekonomis dan struktural. Pertimbangan ekonomis biasanya didasarkan atas biaya produksi untuk menghasilkan agregat ringan dan pengerjaan struktur betonnya sendiri. Secara struktural pertimbangan didasarkan atas berat volume dan kepadatan dari beton yang terbentuk, karena akan lebih ringan dibandingkan menggunakan agregat konvensional. Dengan demikian, jika digunakan untuk struktur atas akan lebih ringan yang pada akhirnya beban konstruksi menjadi lebih ringan.

Agregat ringan dalam standar SNI 03-2461-2002³ terdiri dari 2 macam, yaitu:

1. agregat ringan buatan yang merupakan hasil proses pengembangan, pemanasan atau sintering dari bahan terak tanur tinggi, lempung, diatome, abu terbang, batu sabak, batu obsidian.
2. agregat ringan alami diperoleh secara alami, seperti batu apung dan scoria, batu letusan gunung atau batuan lahar.

Menurut ASTM C330-03⁴, agregat ringan dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Agregat ringan yang dihasilkan dari sisa/ residu proses produksi atau pembakaran misalnya dapur tinggi, pembakaran tanah liat dan lain-lain.
2. Agregat ringan yang dihasilkan melalui pengolahan bahan alam, misalnya batu apung.

Bambu adalah jenis material organik yang terdiri dari glukosa dan serat (sellulosa) seperti layaknya kayu pada umumnya. Yang membedakan adalah arah serat sehingga dapat diketahui manfaat dan fungsinya sebagai elemen struktur. Kelemahan bambu adalah usia pakai yang relatif singkat akibat ekspose perubahan lingkungan, sehingga penggunaan bambu sebagai elemen struktur harus terlindung. Penggunaan agregat bambu memberikan konsekuensi penurunan pada nilai kuat tekan, karena bambu memiliki angka keausan dan kemampuan mengembang-menyusut yang tinggi, dan kekuatan struktur yang lebih rendah daripada agregat konvensional. Untuk mengantisipasi penurunan kekuatan lebih jauh akibat adanya keterbatasan kekuatan bambu tersebut, maka ukuran agregat bambu dibuat bentuk butiran yang lebih kecil agar memiliki volume yang lebih padat. Penggunaan bambu sebagai agregat akan menghasilkan beton yang lebih ringan dari beton yang menggunakan agregat konvensional, yang pada akhirnya akan membuat konstruksi menjadi lebih ringan.

Bambu memiliki angka serapan air sekitar 15 – 20 % dan kemampuan mengembang-menyusut yang cukup besar, sehingga perlu diperhitungkan penambahan jumlah air dalam campuran beton, supaya tidak merusak proses kimiawi pengikatan semen dengan air pada saat proses hidrasi.

Pada umumnya kekuatan beton dipengaruhi oleh kekuatan komponen penyusunnya yaitu; pasta semen, rongga, agregat dan *interface* antara pasta semen dengan agregat. Pemakaian agregat bambu yang mempunyai kemampuan kembang susut tinggi akan menyebabkan retakan pada saat hidrasi awal sehingga kuat belah atau tekannya menurun. Oleh karena itu untuk mendapatkan hidrasi awal beton yang cepat, maka diperlukan adanya penambahan *Sika Viscocrete-10 (superplasticizer* yang berbasis *polycarboxylate*), di mana beton segar mampu mengalir dan memadat dengan sendiri dan hidrasi awal cepat. Hidrasi awal yang cepat akan mengakibatkan beton mengeras lebih cepat dan menghambat ekspansi volume agregat bambu, sehingga beton yang dihasilkan menjadi lebih kuat. Pada pengujian kuat tekan digunakan persamaan 1 dan 2 seperti berikut ini.

$$fc' = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2)$$

dengan

- fc' = kuat tekan atau kuat belah (MPa)
- A = luas penampang benda uji (mm)
- F = beban maksimum (kg)
- D = diameter benda uji (mm)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, yaitu melakukan teknik dan jenis perlakuan yang berbeda pada setiap kelompok variabel penelitian, di bawah kondisi buatan (*artificial condition*).

Desain Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dari pemeriksaan bahan susun yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen dan bahan aditif, yang selanjutnya hasilnya akan dianalisis untuk menentukan proporsi campuran beton. Setelah semua pengujian material selesai, langkah selanjutnya adalah perencanaan campuran beton berdasarkan SK-SNI T-15-1990-03.⁵ Penelitian ini menggunakan nilai faktor air semen (*water-to-cement ratio*) yang umum digunakan pada proses produksi beton yaitu sebesar 0,4.

Dalam penelitian ini dibatasi pada komposisi agregat bambu ditentukan dalam lima perlakuan, yaitu 0/100% (Normal), 20/80%, 40/60%, 60/40%, 80/20% dan 100/0% terhadap berat volume agregat batu pecah.

Benda uji yang telah berumur 14 hari diuji tekan dengan menggunakan *compressive testing machine*, untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji.

Hasil Pemeriksaan Agregat Halus (Pasir)

1. Pemeriksaan gradasi agregat halus dilakukan untuk mengetahui variasi distribusi butiran agregat dan angka modulus halus butiran. Agregat sebaiknya mempunyai gradasi yang bervariasi, agar volume pori antar agregat yang terbentuk menjadi kecil. Jika butiran agregat seragam maka volume pori antar agregat yang terbentuk agak menjadi besar. Modulus halus butiran merupakan indeks yang dipakai untuk

ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Dari hasil pemeriksaan gradasi, pasir kali Progo berada pada daerah 3, yaitu pasir agak halus dengan modulus halus butiran sebesar 3,289 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

2. Berat jenis pasir jenuh kering muka (SSD) sebesar 2,86 sehingga pasir ini tergolong agregat normal yaitu agregat yang berat jenisnya 2,86, sedangkan penyerapan air dari kondisi kering menjadi keadaan jenuh kering muka 2,6%.
3. Kadar lumpur agregat halus sebesar 13,8 % lebih besar dari nilai standar yang ditetapkan yaitu 5 %, sehingga dalam penggunaan pasir perlu dicuci.
4. Kadar air untuk pasir pada kondisi SSD didapat sebesar 1,17 %. Kondisi ini tidak termasuk dalam koridor yang normal dimana kadar air untuk agregat halus pada umumnya antara 1% - 2%.⁶ Dalam penelitian ini pasir yang akan digunakan untuk adukan adalah pasir dalam keadaan jenuh kering muka, yang dalam keadaan jenuh kering muka ini pasir tidak bisa menyerap air lagi sewaktu pengadukan.
5. Berat satuan agregat halus ini berfungsi untuk mengindikasikan apakah agregat tersebut porous atau mampat, yaitu semakin besar berat satuan maka semakin mampat agregat tersebut. Hal ini akan berpengaruh juga nantinya pada proses pengerjaan beton dalam jumlah besar, dan juga berpengaruh pada kuat tekan beton. Jika agregatnya porous maka dapat terjadi penurunan kuat tekan beton. Pada pemeriksaan ini berat satuan pasir SSD didapat sebesar 1503 gram/cm³, berarti pasir tidak termasuk agregat normal (1,50 – 1,80).

Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar (Split)

1. Gradasi split yang digunakan adalah agregat kasar ukuran butiran maks. 10 mm.
2. Berat jenis split jenuh kering muka adalah 2,49 gram/cm³ sehingga batu ini tergolong agregat normal yaitu antara 2,5 sampai 2,7.²
3. Kadar air untuk agregat kasar pada kondisi SSD didapat sebesar 3,01 %.
4. Keausan split sebesar 41,5% sedikit di atas batas maksimum yang ditetapkan (40%) untuk pembuatan beton dengan mutu beton K125 – K225 atau kelas mutu II.
5. Pemeriksaan kadar lumpur sebesar 1,6% lebih tinggi dari nilai standar yang ditetapkan yaitu 1%, sehingga dalam penggunaan split perlu dicuci.
6. Kadar air untuk split pada kondisi SSD didapat sebesar 1,83%. Kondisi ini termasuk dalam koridor yang normal dimana kadar air untuk agregat kasar pada umumnya 2%.⁶ Dalam penelitian ini split yang akan digunakan untuk adukan adalah split dalam keadaan jenuh kering muka, dimana dengan keadaan jenuh kering muka ini split tidak bisa menyerap air lagi sewaktu pengadukan.
7. Pada pemeriksaan ini berat satuan pasir SSD didapat sebesar 1,52 gram/cm³.

Hasil Pemeriksaan Agregat Bambu

1. Serat bambu yang digunakan adalah serat kasar ukuran maks 5 x 15 mm, ketebalan 1 mm.

Tabel 1. Mix Design Beton Normal dan Beton Dengan Serat Bambu per Meter Kubik

Material	Persentase agregat bambu					
	Normal	20/80%	40/60%	60/40%	80/20%	100/0%
Agregat halus (Kg)	576.64	576.64	576.64	576.64	576.64	576.64
Agregat kasar (Kg)	1225.36	980.288	735.216	490.144	245.072	0
Semen (Kg)	375	375	375	375	375	375
Air (Kg)	150	150	150	150	150	150
Bambu (Kg)	0	27.41	54.82	82.24	109.65	137.07
viscocrete-10 (Kg)	3	3	3	3	3	3

Tabel 2. Mix Design Beton Normal dan Beton Dengan Serat Bambu per Sampel Uji

Material	Persentase agregat bambu					
	Normal	20/80%	40/60%	60/40%	80/20%	100/0%
Agregat halus (Kg)	3.056	3.056	3.056	3.056	3.056	3.056
Agregat kasar (Kg)	6.494	5.195	3.896	2.598	1.298	0
Semen (Kg)	1.987	1.987	1.987	1.987	1.987	1.987
Air (Kg)	0.795	0.795	0.795	0.795	0.795	0.795
Bambu (Kg)	0	0.14	0.290	0.436	0.581	0.795
viscocrete-10 (Kg)	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019

Tabel 3. Hasil Pengujian Slump

Pengamatan Nilai Slump (cm)	Persentase Serat Bambu					
	Normal	20/80%	40/60%	60/40%	80/20%	100/0%
Beton Dengan Serat Bambu	18	14	7	3.5	2.5	1
Beton Dengan Serat Bambu Dan Silicafume	17	13	8	4	2	1

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

Tabel 4. Hasil Pengujian serapan air

Pengamatan Serapan Air (%)	Persentase serat bambu					
	Normal	20/80%	40/60%	60/40%	80/20%	100/0%
Beton Dengan Serat Bambu	0.341	0.85	0.942	1.941	2.05	3.612
	0.616	0.788	1.324	1.17	2.329	3.3651
	0.775	0.882	1.112	1.693	2.079	3.818
Beton Dengan Serat Bambu Dan Silicafume	0.26	1.706	1.91	2.634	2.993	4.493
	0.475	1.572	2.568	2.145	3.474	3.473
	1.253	1.502	1.55	1.712	2.505	4.709

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

2. Berat jenis agregat bambu diperoleh dari hasil pengujian adalah 0,347 gram/cm³. Kadar air untuk agregat bambu pada kondisi SSD didapat sebesar 19%.

Kebutuhan Material Campuran Beton (Mix Design) per Meter Kubik.

Setelah dilakukan pengujian material penyusun beton, direncanakan jumlah material dalam campuran sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Pada mix design beton dengan agregat bambu, perbandingan campuran beton yang dipakai menggunakan perbandingan berat volume, karena agregat bambu memiliki berat jenis yang lebih rendah sehingga campuran beton lebih proporsional. Bambu memiliki berat jenis yang rendah tetapi memiliki volume yang relatif sama dengan agregat konvensional split. Untuk

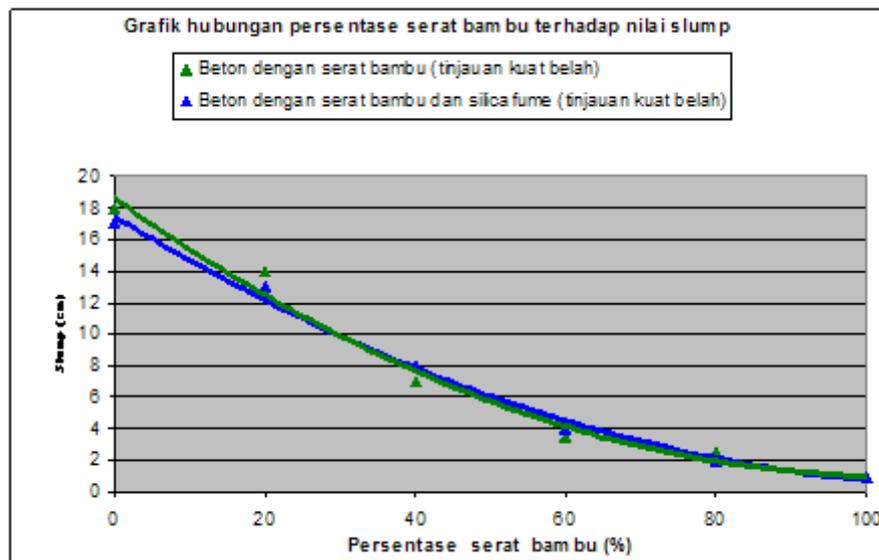
membedakan kinerja beton, pada salah satu mix design, agregat bambu akan ditambahkan additive Silicafume sebesar 8% dari berat semen. Gambar 3 menunjukkan benda uji silinder campuran beton menggunakan agregat bambu yang digunakan dalam kajian ini

HASIL DAN PEMBAHASAN

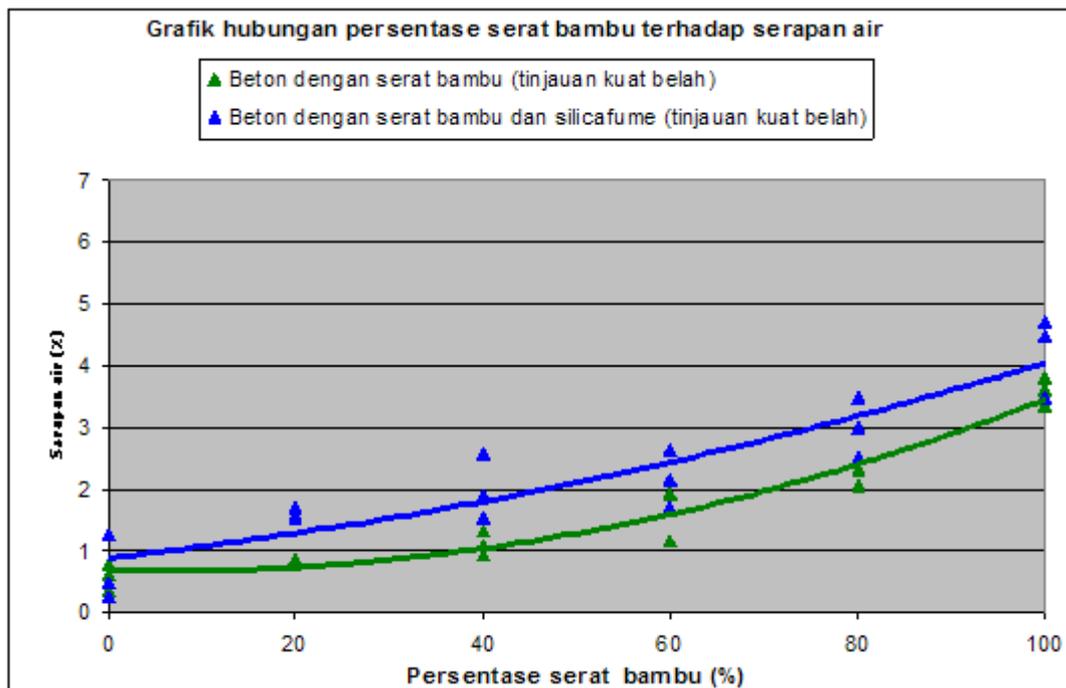
Pada *mix design* beton dengan serat bambu, perbandingan campuran beton yang dipakai menggunakan perbandingan berat volume, serat bambu memiliki berat jenis yang lebih rendah sehingga campuran beton lebih proporsional. Bambu memiliki berat jenis yang rendah tetapi memiliki volume yang relatif sama dengan agregat konvensional split. Untuk membedakan kinerja beton, pada salah satu design analisis serat bambu akan ditambahkan *additive silicafume* sebesar 8% dari berat semen.



Gambar 3. Benda uji silinder beton-agregat bambo



Gambar 4. Grafik Hubungan Persentase Serat Bam bu



Gambar 5. Grafik Hubungan Persentase Serat Bam bu Terhadap serapan air

Tabel 5. Hasil Identifikasi Berat Jenis Tiap Sampel

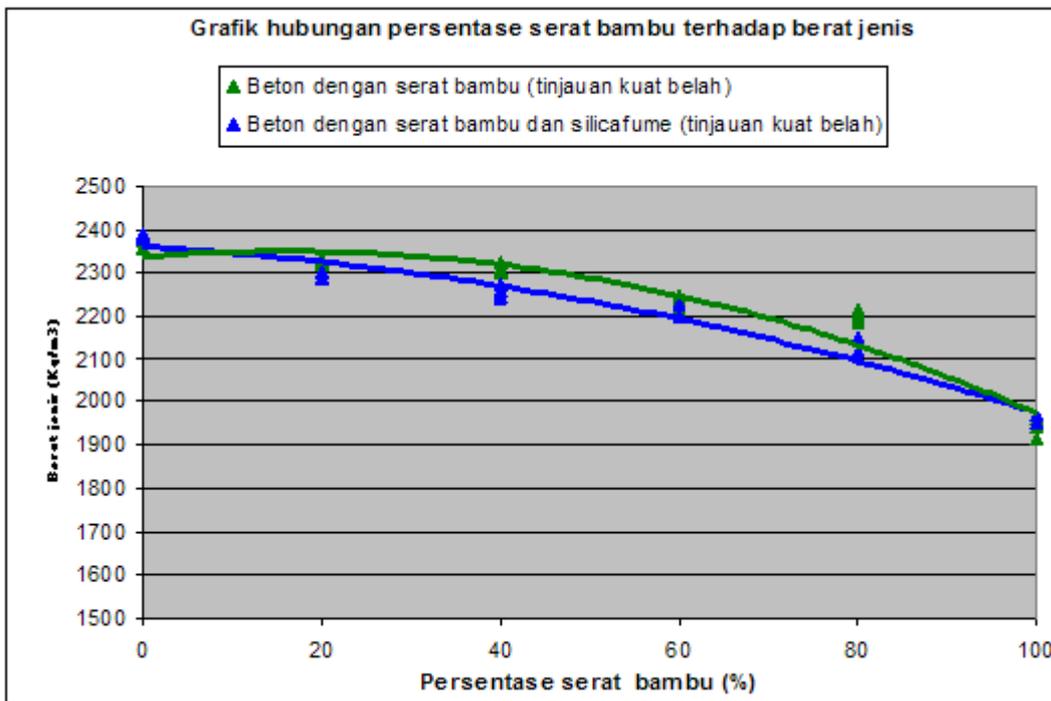
Pengamatan Berat Jenis (Kg/m ³)	Persentase serat bambu					
	Normal	20/80%	40/60%	60/40%	80/20%	100/0%
Beton Dengan Serat Bambu	2375.28	2330.38	2301.51	2244.72	2199.62	1943.21
	2355.85	2321.89	2307.36	2240	2187.17	1962.45
	2359.06	2288.3	2323.02	2217.36	2213.58	1912.45
Beton Dengan Serat Bambu Dan Silicafume	2390.38	2289.25	2241.32	2199.06	2105.28	1968.02
	2379.62	2303.58	2254.91	2198.3	2150.57	1950
	2377.92	2285.85	2275.09	2226.23	2116.04	1951.13

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Belah

Pengamatan Kuat Belah (Mpa)	Persentase agregat bambu					
	Normal	20/80%	40/60%	60/40%	80/20%	100/0%
Beton Dengan Serat Bambu	12.19	10.13	5.08	2.47	1.65	1.39
	9.68	11.14	4.46	3.02	1.61	1.21
	12.41	9.31	4.06	3	1.62	1.4
Beton Dengan Serat Bambu Dan Silicafume	13.62	9.8	8.84	8.41	6.75	3.15
	12.84	12.14	10.13	7.84	6.98	2.69
	10.95	9.4	8.78	8.17	8.2	3

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

**Gambar 6.** Grafik Hubungan Persentase Serat Bambu Terhadap Berat Jenis Beton

Pengujian Beton Segar

Sebelum melakukan pencetakan benda uji beton, terlebih dahulu dilakukan pengujian beton segar pada masing-masing adukan. Hasil pengujian sifat beton segar yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kemudahan dalam pengerjaan (*workability*). Hasil pengujian *slump* selengkapnya disajikan dalam Tabel 3 dan Gambar 4.

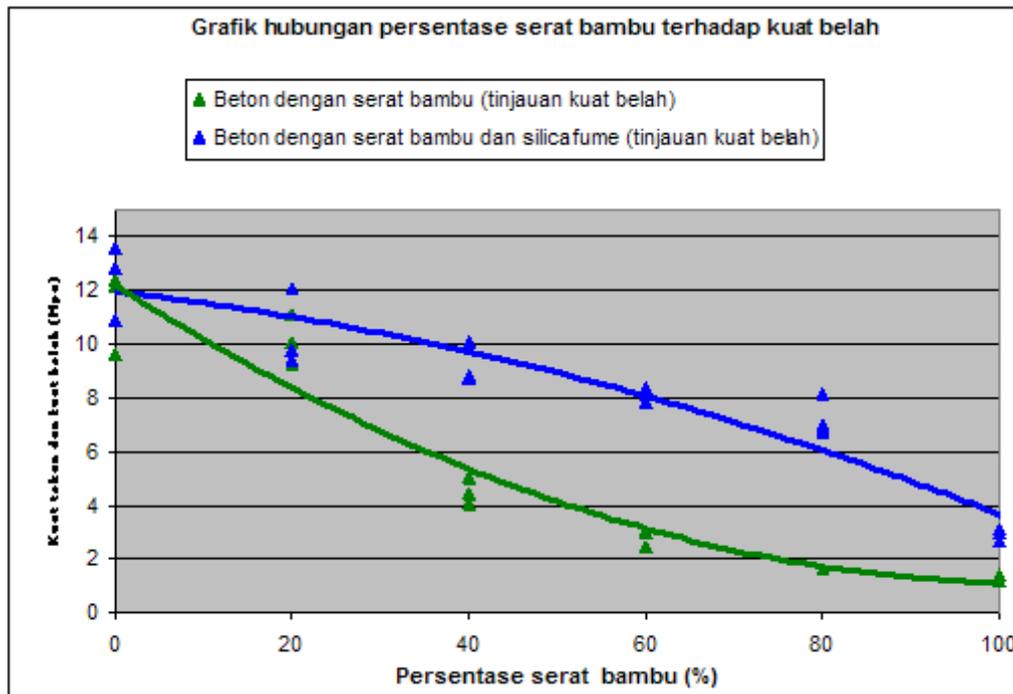
Terhadap Nilai *Slump*

Agregat bambu memiliki kecenderungan menyerap air yang cukup tinggi, yang akan mempengaruhi kadar air dalam campuran beton dan berakibat pada nilai kelecakan

beton (*workability*). Pada penelitian ini, persentase agregat bambu yang semakin besar dalam campuran beton menyebabkan nilai *slump* semakin rendah.

Pengujian Beton Keras (*Hardened Concrete*)

Identifikasi berat sampel beton sebelum dan sesudah perendaman untuk menentukan serapan air dan pengujian kuat tekan masing-masing sampel dengan persentase serat bambu yang berbeda. Data selengkapnya hasil identifikasi berat benda uji dan kuat tekan disajikan pada Tabel 5 sampai Tabel 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan Persentase Serat Bambu Terhadap Kuat Belah Beton

1. Hubungan Persentase Agregat Bambu terhadap Serapan Air Beton

Setelah beton dicor dalam cetakan dan mengeras, langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi berat benda uji awal. Setelah beton mengalami masa perawatan, dilakukan pengujian untuk mengetahui serapan air beton selama berada dalam rendaman air. Hasil pengujian serapan air selengkapnya disajikan pada Gambar 5.

Serat bambu memiliki kecenderungan menyerap air cukup tinggi yang akan mempengaruhi kadar air dalam campuran beton, sehingga yang berakibat pada nilai kelecakan beton (*workability*). Pada penelitian ini, persentase agregat bambu yang semakin besar dalam campuran beton akan menyebabkan persentase serapan air semakin tinggi.

2. Hubungan Persentase Agregat Bambu terhadap Berat Jenis Beton

Agregat bambu memiliki berat jenis yang relatif lebih kecil daripada agregat batu pecah, sehingga persentase serat bambu yang semakin besar dalam campuran beton akan mereduksi jumlah agregat batu pecah (*split*). Akibatnya berat jenis beton menjadi semakin kecil sebagaimana disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 6.

3. Hubungan Persentase Agregat Bambu terhadap Kuat Belah Beton

Bambu adalah jenis material organik yang memiliki tingkat keausan cukup tinggi dibandingkan dengan agregat konvensional *split*, sehingga semakin tinggi persentase agregat bambu dalam campuran beton, maka nilai kuat tekannya semakin rendah sebagaimana disajikan pada Gambar 7.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil identifikasi *slump* beton, diperoleh nilai ideal *slump (workability)* rata-rata 14 cm pada persentase 20/80% serat bambu terhadap agregat konvensional

split. Semakin besar persentase serat bambu dalam campuran beton terjadi penurunan terhadap nilai *slump* yang semakin rendah.

2. Hasil identifikasi serapan air beton, diperoleh nilai terbesar rata-rata serapan air adalah 4.67 % pada persentase 0/100% serat bambu terhadap agregat konvensional *split*. Semakin besar persentase serat bambu dalam campuran beton terjadi kenaikan serapan air yang semakin tinggi.
3. Hasil identifikasi berat jenis beton, diperoleh nilai berat jenis terkecil rata-rata 1947.87 Kg/m³ persentase 100/0% serat bambu terhadap agregat konvensional *split*. Semakin besar persentase serat bambu dalam campuran beton terjadi penurunan terhadap berat jenis yang semakin rendah
4. Berdasarkan hasil identifikasi kuat belah, diperoleh nilai kuat belah terbesar sebesar rata-rata 12 MPa dan terkecil 2.14 MPa, dibawah standar minimal kuat tekan beton ringan yang disyaratkan ACI 318-04 sebesar 17,2 MPa.
5. Penggunaan serat bambu dalam campuran beton menghasilkan beton dengan perilaku hubungan tegangan dan regangan nonlinier sehingga lebih plastis dan memiliki duktilitas yang lebih tinggi dari beton normal.

DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 318-08 (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Michigan: American Concrete.
2. Tjokrodimulyo, K. (2004). *Teknologi beton* (edisi kedua). Yogyakarta: Naviri.
3. SNI 03-2461-2002 (2002), Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural, Jakarta, Badan Standar nasional
4. ASTM C330-03 (2003), *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*

5. SK-SNI.T-15-1990-03. (1990), Standar Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, Jakarta, Badan penelitian dan Pengembangan.
6. Mulyono, T. (2003). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Andi Offset.