

KAJIAN BESARAN MEKANIS BETON BERSERAT MUTU TINGGI (STUDI EKSPERIMENTAL)

Antonius dan Prabowo Setiyawan
Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Abstract

Results are summarized from experimental investigation of the mechanical properties of fiber high-strength concrete. The materials tested were produced using Type I portland cement, fly ash from Paiton, gravel or crushed limestone coarse aggregate, sand from a local deposit, and for some mixes a water-reducing retarding admixture. Water-cement ratio is 0,38; and mix design of uniaxial compressive strength greater than 50 MPa. Information is given pertaining to compressive strength, split cylinder strength, static modulus of elasticity and modulus of rupture. Several differences were found, in some cases, between the mechanical properties of non-fiber and fiber high-strength concrete. From this study, it is found that the modulus of elasticity models warrant to be modified before they can be utilized in the design of structures made of fiber high-strength concrete materials. The work described is a part of a larger investigation of the fundamental and engineering properties of fiber high-strength concrete.

Keywords : *fiber concrete, high-strength concrete, mechanical properties*

PENDAHULUAN

Dewasa ini laju pembangunan di Indonesia semakin pesat, terutama setelah mulai berakhirnya krisis moneter pada awal milenium ketiga ini. Laju pembangunan fisik yang menggunakan berbagai bahan konstruksi dalam jumlah yang besar terjadi dalam segala bidang. Bahan konstruksi yang mempunyai peranan yang sangat besar, antara lain beton, kayu, dan baja. Beton dalam pemakaiannya sebagai bahan bangunan sudah lama dikenal. Pemakaian bahan ini dikarenakan beberapa kelebihan yang dimiliki, antara lain harga yang relatif murah karena bahan baku (pasir dan kerikil) yang tersedia cukup banyak, kekuatan tekan yang tinggi, kemudahan dalam perawatan dan mudah dibentuk sesuai dengan yang dibutuhkan, tahan terhadap api, tahan cuaca. Selain itu, beton tidak busuk dan berkarat menjadi nilai tambah dari bahan tersebut.

Meskipun demikian, beton tetap mempunyai sifat yang kurang menguntungkan di antaranya adalah kekuatan tarik dan sifat daktilitas yang relatif rendah. Kekuatan tarik beton berkisar 5–10 % dari kekuatan tekannya (MacGregor, 1997). Sifat inilah yang membuat kuat tarik beton tidak diperhitungkan dalam desain struktur. Pada penampang beton bertulang, tegangan tarik ditahan oleh baja tulangan yang mempunyai kuat

tarik yang tinggi. Sifat daktilitas yang cenderung menurun terutama untuk beton dengan mutu yang semakin tinggi, sehingga menjadikan beton kurang menguntungkan apabila berada pada zona gemp. Untuk mengeliminasi kelemahan beton dalam hal kekuatan tarik telah dilakukan banyak penelitian, di antaranya dengan cara penambahan serat yang dipakai untuk bahan tambahan beton, seperti baja (steel fibers), kaca (fiberglass), karbon (carbon fibers), polimer (polymers fibers), dan kevlar (kevlar fibers). Hasil penelitian Suhendro (1991), untuk beton berserat kawat baja dengan kuat tekan sekitar 30 Mpa, mengungkapkan dengan penambahan serat dalam persentase tertentu pada bahan campuran beton akan terjadi peningkatan daktilitas yang signifikan.

Di Indonesia, konsep pemakaian beton serat (fiber) baja pada adukan beton untuk struktur bangunan teknik sipil belum banyak dikenal dan dipakai dalam praktik. Salah satu penyebabnya adalah belum tersedianya serat/fiber baja secara murah dan dalam jumlah yang cukup. Untuk mengatasi hal ini telah ditemukan solusi alternatif, yaitu dengan menggunakan fiber lokal yang terbuat dari potongan-potongan kawat lokal yang tersedia di pasaran.

Signifikansi Penelitian

Berdasarkan data keruntuhan yang terjadi akibat kejadian gempa di Indonesia diketahui bahwa pada umumnya keruntuhan terjadi karena struktur beton bertulang biasa (konvensional) yang digunakan tidak mempunyai daktilitas yang cukup untuk menyerap energi gempa yang terjadi (Imran dkk., 2006). Hal tersebut dimungkinkan karena di samping beton memang mempunyai daktilitas yang relatif rendah, juga tidak dipasangnya tulangan lateral sebagai tulangan pengekang (*confined*) dalam jumlah yang “cukup” pada struktur beton. Salah satu cara untuk meningkatkan daktilitas material beton tersebut adalah dengan menambahkan berbagai bahan tambah, baik yang bersifat kimiawi maupun fisikal pada adukan beton. Salah satu alternatif bahan tambah yang bersifat fisis adalah serat baja (*steel fibers*). Tujuan utama yang ingin dicapai dengan penambahan serat baja tadi adalah tercapainya daktilitas yang cukup sehingga secara material beton dapat mendisipasi energi gempa yang terjadi. Untuk meningkatkan kualitas beton agar lebih ekonomis penggunaannya dalam komponen struktur adalah dengan meningkatkan kuat tekannya sehingga dihasilkan beton berserat mutu tinggi. Beton dengan mutu yang tinggi tersebut dapat dicapai dengan mensubstitusikan abu terbang ataupun *silica fume* (Besari dkk., 1992; Imran dkk., 1999). Dengan dihasilkannya beton berserat mutu tinggi tersebut akan dapat dihemat penggunaan baja tulangan terutama di daerah tekan. Dengan demikian, akan menjadi menarik apabila dapat dihasilkan beton berserat dengan mutu yang tinggi yang mempunyai daktilitas yang tinggi pula.

Dengan memanfaatkan kemajuan teknologi beton sehingga dapat diperoleh struktur yang ekonomis yang mempunyai daktilitas yang memadai, maka timbul pemikiran untuk

membuat beton mutu tinggi dengan tambahan serat yang di dalam penelitian ini akan dipelajari sifat-sifat mekaniknya.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, yaitu beton berserat mutu tinggi, yang didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan lebih dari 50 MPa, terutama untuk mengetahui sampai sejauh mana besaran mekanis yang dapat dicapai, yang meliputi kuat tekan (f_c'), kuat tarik (f_t'), modulus elastisitas (E_c), dan modulus lentur (*rupture*) E_r . Kuat tekan beton dan persentase kandungan serat merupakan parameter yang ditinjau dalam penelitian ini.

Beton Berserat (Fiber Concrete)

Definisi beton berserat menurut ACI Comitte adalah beton yang terdiri dari semen hidrolis, termasuk di dalamnya agregat halus dan atau kasar dan potongan-potongan serat tertentu. Ide dasar penambahan serat adalah memberikan tulangan pada beton dengan serat yang disebarkan secara merata untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan (Soroushian dan Bayashi; 1992) seperti dalam Tabel 1.

Walaupun perancangan struktur selalu diusahakan beton dalam keadaan tekan, tetapi bagian tarik beton tetap akan menahan gaya tarik walau dalam jumlah kecil. Hal ini menyebabkan terjadinya retak-retak rambut sebelum tulangan mendukung beton tarik secara optimal. Secara struktural mungkin retak-retak ini tidak berbahaya, tetapi dari segi keawetan akan cukup berpengaruh. Berbagai penelitian telah dilakukan sehubungan dengan pemakaian serat ini, di antaranya oleh Balaguru dan Ramakrishnan (1986, 1988), Chern dan Young (1990), Grzybowski dan Shah (1990) dan Leksono dkk. (1995).

Tabel 1. Jenis-jenis Serat dan Perilaku Fisik (Mindess & Young, 1982)

Tipe serat	Kuat tarik (N/mm ²)	Modulus Young (N/mm ²)	Perpanjangan (%)	Berat jenis
Acrylic	210-420	$2,1 \cdot 10^3$	25-45	1,10
Asbestos	560-985	8,4-14	0,6	3,20
Cotton	420-700	5	3-10	1,50
Glass	1050-3870	70	1,5-3,5	2,50
Nylon	780-850	4,2	16-20	1,10
Polyster	750-880	8,5	11-13	1,40
Polypropylene	560-780	8,5	11-13	1,40
Rayon	420-630	7,3	10-25	1,50
Steel	280-420	$20 \cdot 10^4$	0,5-25	7,80

Berbagai tipe serat yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton dapat dilihat pada Tabel 1.

Data kuat tarik fiber pada Tabel 1 memperlihatkan nilai yang relatif tinggi, yang mengindikasikan bahwa fiber tersebut apabila digunakan sebagai bahan campuran beton dapat memperbaiki sifat tarik beton yang sangat rendah. Sifat-sifat beton menurut Suhendro (1991) yang dapat diperbaiki dengan penambahan fiber kawat, antara lain daktilitas (*ductility*) yang berhubungan dengan kemampuan bahan menyerap energi (*energy absorption*); ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*); kemampuan menahan tarik dan lentur; ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life*); ketahanan terhadap pengaruh penyusutan (*shrinkage*); ketahanan aus (*abrasion*) dan fragmentasi (*fragmentation*) dan *spalling*.

Sehubungan dengan sifat-sifat beton yang diharapkan lebih baik seperti tersebut diatas, Balaguru dan Ramakrishnan (1986, 1988) mensyaratkan fiber yang digunakan untuk campuran beton adalah sebagai berikut. Pertama, durabilitas/keawetan, yaitu serat harus tahan terhadap lingkungan beton. Faktor yang mempengaruhi keawetan ini, antara lain reaksi alkali, ketahanan abrasi mekanik selama pengadukan dan pengerjaan beton, serta perubahan fase atau bentuk akibat perubahan temperatur. Kedua, ikatan mekanik dan kimia atau penjangkaran serat dalam beton sangat penting untuk memperoleh kekuatan yang diinginkan. Sifat ini sangat sulit untuk diukur dan dievaluasi dan sangat berpengaruh terhadap sifat komposit. Ketiga, sifat mekanik, antara lain kekuatan, kekerasan, dan keliatan. Yang diharapkan dari serat ini adalah mempunyai kekuatan yang relatif tinggi, kekerasan, keliatan, dan kemampuan serat menyerap energi. Sifat ini penting selama pembebanan maupun dalam menahan retak yang terjadi. Keempat, penyerapan yang diharapkan serat mempunyai sifat yang mudah dikerjakan, pengertian penyebarannya dapat merata keseluruh bagian beton tanpa terjadi *balling* (penggumpalan) untuk mendapat pengaruh yang merata pula.

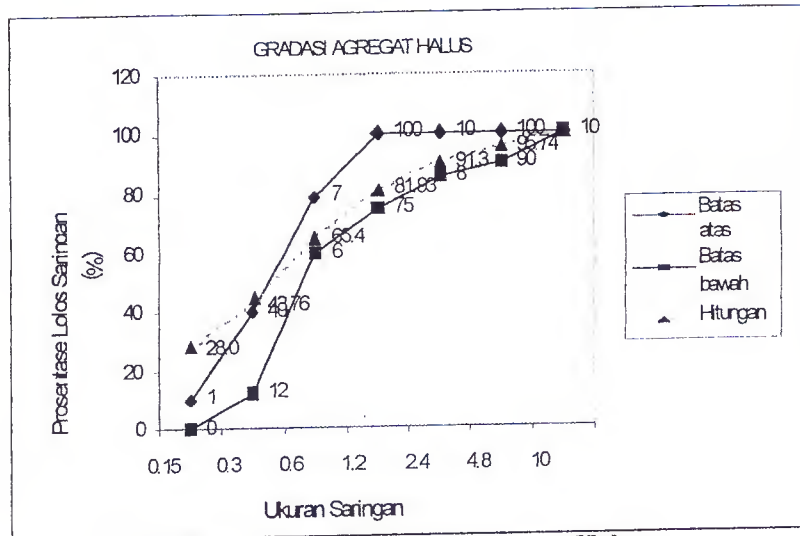
Beton Serat dengan Tambahan Serat/Fiber Kawat Bendrat

Kawat bendrat merupakan kawat yang biasa digunakan untuk pengikat tulangan beton. Kawat tersebut dipotong dengan panjang dan bentuk tertentu untuk kemudian dicampur dalam adukan beton. Hasil penelitian Suhendro dkk. (1991) merekomendasikan tiga hal berikut yang perlu mendapat perhatian khusus pada beton serat baja. a) Masalah *fiber dispersion*, yang menyangkut teknik pencampuran fiber ke dalam adukan agar dapat tersebar merata dengan orientasi yang random. b) Masalah *workability* (kelecekan adukan), yang menyangkut kemudahan dalam proses pengerjaan/pemadatan, termasuk indikatornya. c) Masalah *mix design/proportion* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kelecekan yang memadai.

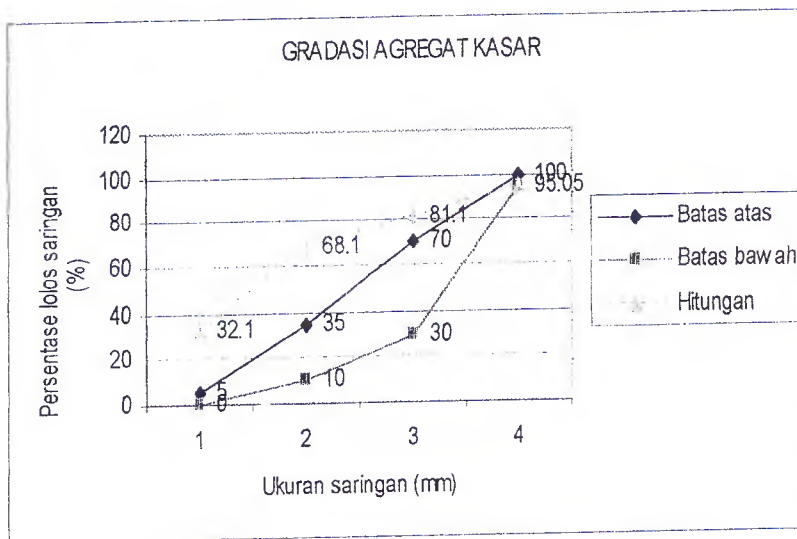
METODE PENELITIAN

Target kuat tekan yang akan dicapai adalah lebih tinggi dari 50 MPa. Semen yang digunakan adalah semen merk Nusantara tipe I dengan berat jenis 3,15. Untuk meningkatkan kepadatan dan ketegaran retak beton agar dapat dihasilkan beton dengan kuat tekan di atas 50 MPa, digunakan bahan tambah Abu Terbang (Fly Ash) dengan persentase 15% dari berat semen. Untuk memperbaiki workabilitas digunakan Superplasticizer jenis Sikament NN dengan dosis 1,5% dari berat semen. Agregat kasar berasal dari Semarang mempunyai ukuran maksimum 20 mm dan agregat halus menggunakan pasir Muntilan berukuran maksimum 5 mm. Kawat bendrat sebagai serat (fiber) yang digunakan mempunyai diameter 1 mm dan panjang 50 mm. Kurva gradasi agregat halus dan agregat kasar masing-masing ditampilkan pada Gambar 1 dan 2.

Gambar 1 menunjukkan gradasi agregat halus sudah memenuhi standar kekontinuan ukuran agregat dan berada diantara batas atas dan bawah. gradasi agregat kasar memiliki kecenderungan ukuran yang kontinu namun berada di atas standar batas maksimum. Kondisi gradasi agregat kasar tersebut dibiarkan sesuai dengan yang ada di pasaran.



Gambar 1. Kurva Gradasi Agregat Halus



Gambar 2. Kurva Gradasi Agregat Kasar

Tabel 3. Desain campuran beton

Bahan	Jumlah (kg/m ³)
Semen	420
Abu terbang (Fly Ash)	74,11
Air	160
Superplasticizer	6,23
Pasir	689,28
Krikil	1033,92
w/c	0,38

Uji kuat tekan dan kuat tarik (splitting test) dilakukan saat umur beton 28 hari, masing-masing memiliki 6 seri benda uji, dan pengujian modulus elastisitas dilakukan terhadap silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Uji

modulus lentur (*modulus of rupture*) dilakukan terhadap prisma penampang 150x150 mm dan panjang 600 mm, yaitu pembebanan diterapkan dengan sistem *two point load*. Pengujian modulus elastisitas dan modulus lentur masing-masing mengacu pada standar ASTM C78 dan ASTM C469. Semua pengujian di atas dilakukan dengan mesin uji tekan kapasitas 1000 kN dengan sistem pengujian kontrol beban (load control).

HASIL

Hasil pengujian kekuatan tekan dan kuat tarik tercantum pada Tabel 4. Nilai *slump* rata-rata

yang diperoleh untuk beton tanpa serat adalah 120 mm dan beton berserat (1% dan 1,5%) mempunyai nilai *slump* rata-rata sebesar 80 mm. Nilai modulus elastisitas rata-rata untuk beton tanpa serat adalah 27100 MPa, sedangkan untuk beton berserat 1% dan 1,5% masing-masing adalah 28700 MPa dan 29000 MPa. Nilai modulus lentur rata-rata untuk beton tanpa serat adalah 5,6 Mpa, beton berserat 1% adalah 5,87 Mpa, dan beton berserat 1,5% adalah sebesar 5,87 MPa.

PEMBAHASAN

Penambahan *superplasticizer* pada semua benda uji ternyata dapat menjaga sifat workabilitas beton yang ditunjukkan dari nilai *slump* sebesar 120 mm untuk beton tanpa serat. Dengan adanya campuran serat sebesar 1% dan 1,5% sifat kelecakan beton menurun (*slump*=80 mm). Hasil nilai *slump* tersebut menunjukkan meskipun terjadi penurunan nilai *slump* dari beton tanpa serat menjadi beton berserat namun dengan digunakannya *superplasticizer*, konsistensi dan sifat pengerjaan beton masih tetap terjaga.

Kuat Tekan dan Kuat Tarik

Secara umum beton berserat dapat dihasilkan dengan mutu yang tinggi ($f_c' > 50$ Mpa) baik untuk penambahan serat 1% maupun 1,5% (Tabel 4). Bahkan, pada semua seri beton terjadi

peningkatan kuat tekan dan kuat tarik beton berserat dibanding pada kondisi yang sama terhadap beton tanpa serat (Gambar 3 dan 4). Penggunaan abu terbang (*fly ash*) sangat berpengaruh terhadap perbaikan mikrostruktur beton, karena material tersebut akan mengisi pori-pori pasta semen sehingga kepadatan beton tetap terjaga. Dari keseluruhan seri benda uji, beton berserat seri VI mempunyai nilai kuat tekan dan kuat tarik yang paling tinggi ($f_c' \sim 75$ MPa dan $f_t' \sim 4$ MPa).

Perbandingan kuat tekan terhadap kuat tarik (f_t'/f_c') beton berserat mempunyai nilai di antara 5,5 hingga 6,5% sehingga harga tersebut masih terletak di antara batas-batas yang mirip dengan yang biasa diasumsikan untuk beton normal (tanpa serat). Gambar 5 adalah hasil regresi hubungan antara kuat tarik terhadap kuat tekan untuk beton berserat.

Berdasarkan hasil regresi linier (Gambar 5), persamaan kuat tarik beton beton fiber adalah sebagai berikut.

a. Beton berserat 1%:

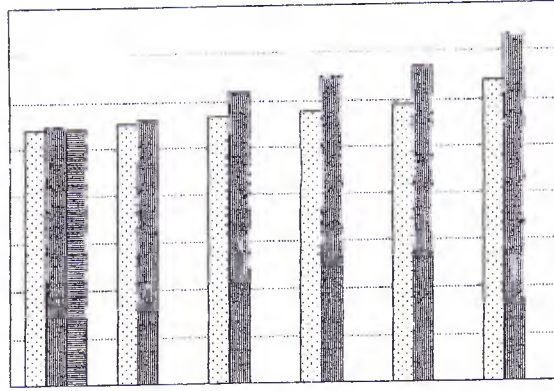
$$f_t' = 0,71\sqrt{f_c'} - 1,96 \quad (1)$$

b. Beton berserat 1,5%:

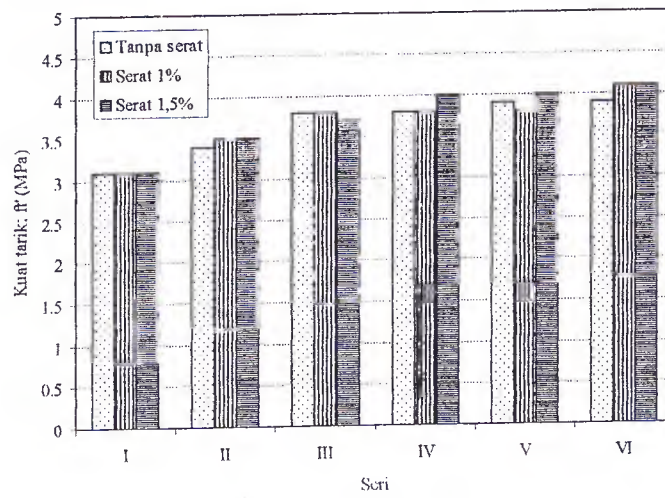
$$f_t' = 0,78\sqrt{f_c'} - 2,44 \quad (2)$$

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik

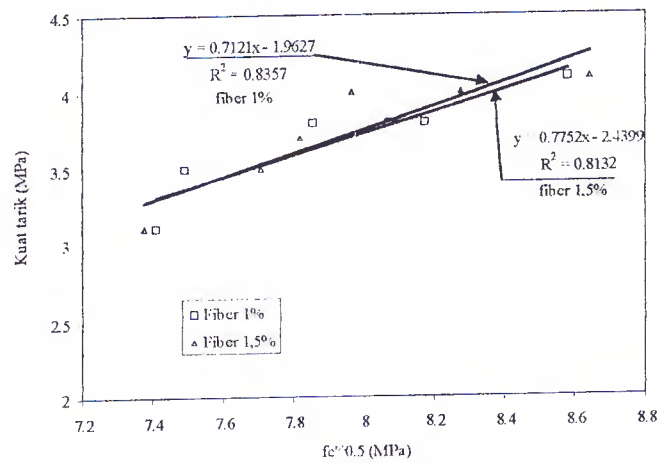
Seri	Beton Tanpa Serat			Beton Berserat 1%			Beton Berserat 1,5%		
	Kuat tekan; f_c' (MPa)	Kuat tarik; f_t' (MPa)	f_t'/f_c'	Kuat tekan; f_c' (MPa)	Kuat tarik; f_t' (MPa)	f_t'/f_c'	Kuat tekan; f_c' (MPa)	Kuat tarik; f_t' (MPa)	f_t'/f_c'
I	54,4	3,1	5,7%	54,9	3,1	5,6%	54,4	3,1	5,7%
II	55,5	3,4	6,1%	56,1	3,5	6,2%	59,4	3,5	5,9%
III	56,6	3,8	6,7%	61,7	3,8	6,2%	61,1	3,7	6,1%
IV	57,7	3,8	6,6%	65,1	3,8	5,8%	63,4	4	6,3%
V	58,8	3,9	6,6%	66,8	3,8	5,7%	68,5	4	5,8%
VI	64	3,9	6,1%	73,6	4,1	5,6%	74,7	4,1	5,5%



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Beton Tanpa Serat dan Beton Berserat



Gambar 4. Perbandingan kuat tarik beton tanpa serat dan beton berserat



Gambar 5. Kurva regresi hubungan kuat tarik dan kuat tekan beton

Tabel 5. Perbandingan Modulus Elastisitas Hasil Eksperimen Terhadap Model Usulan

Beton Fiber	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Modulus Elastisitas; Ee (Mpa)						
		Collins dkk. (1993)	Antonius dkk. (2000)	SNI 2002	Eksp.	Eksp./Collins	Eksp./Antonius	Eksp/SNI
1%	63	33251	32421	37305	28700	0,86	0,89	0,77
1,5%	63,6	33376	32552	37482	29000	0,87	0,89	0,77

Modulus Elastisitas dan Modulus Lentur

Modulus elastisitas beton berserat 1% mengalami peningkatan sebesar 5,9% terhadap beton tanpa serat, sedangkan modulus elastisitas beton berserat 1,5% meningkat 7% terhadap modulus elastisitas beton tanpa serat. Hasil tersebut mengindikasikan adanya peningkatan kekakuan beton berserat yang seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton. Modulus lentur beton berserat 1% dan 1,5% sama-sama mengalami kenaikan sebesar 4,77% terhadap beton tanpa serat.

Selanjutnya, Tabel 5 memperlihatkan perbandingan nilai modulus elastisitas hasil eksperimen terhadap persamaan yang diusulkan oleh Collins dkk. (1993) dan Antonius dkk. (2000) untuk beton mutu tinggi tanpa fiber, dan persamaan desain yang digunakan dalam SNI 2002, yaitu:

a. Collins dkk. (1993):

$$E_c = 3320\sqrt{f'_c} + 6900 \text{ (MPa)} \quad (3)$$

b. Antonius dkk. (2000):

$$E_c = 3480\sqrt{f'_c} + 4800 \text{ (MPa)} \quad (4)$$

c. SNI 2002:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (5)$$

Persamaan 3 dan 4 di atas diturunkan dari hasil pengujian material beton mutu tinggi, sedangkan persamaan 5 adalah berdasarkan pengujian beton di bawah 41 MPa.

Terlihat dari Tabel 5 tersebut bahwa modulus elastisitas hasil eksperimen berada di bawah prediksi, baik berdasarkan model Collins dan Antonius, yaitu sekitar 10-15%, bahkan hasil eksperimen terhadap estimasi persamaan SNI berbeda sekitar 20%. Hasil tersebut menunjukkan dengan penambahan fiber terjadi penurunan kekakuan secara signifikan terutama untuk beton fiber mutu tinggi, sehingga perlu ada modifikasi persamaan modulus elastisitas

untuk beton mutu tinggi berserat agar lebih realistis penggunaannya dalam desain struktur beton.

KESIMPULAN

Beton berserat mutu tinggi ($f'_c > 50$ MPa) dapat dihasilkan dengan memanfaatkan bahan tambah abu terbang untuk menjaga sifat kepadatan dan ketegaran retak beton. Selain itu, beton berserat mutu tinggi ini mempunyai sifat pengerjaan yang cukup baik apabila digunakan *superplasticizer* dalam dosis tertentu. Sifat lainnya yang diperoleh adalah kuat tarik beton berserat mutu tinggi adalah berkisar antara 5,5-6,5% dari kuat tekannya. Dengan demikian, hasil ini kurang lebih sama dengan yang diasumsikan penggunaannya pada beton mutu tinggi tanpa serat. Berdasarkan hasil regresi linier diusulkan persamaan kuat tarik beton berserat masing-masing 1% dan 1,5%, yaitu persamaan 1 dan 2. Sifat kekakuan beton berserat mutu tinggi yang ditunjukkan dari nilai modulus elastisitas hasil eksperimen yang memperlihatkan perlu ada modifikasi terlebih dahulu persamaan desain mengenai prediksi modulus elastisitas dari beton mutu tinggi tanpa fiber menjadi beton mutu tinggi dengan fiber (berserat).

Dalam hal untuk mencapai tingkat workabilitas beton yang baik, perlu dilakukan percobaan pendahuluan (*trial mix*) hingga dicapai nilai *slump* yang diinginkan pada campuran beton yang akan digunakan. Dalam eksperimen ini digunakan *superplasticizer* (sikament NN) yang bertujuan untuk mendapatkan beton yang *workable* dan mencapai nilai *slump* yang diinginkan. Penelitian ini masih dapat dikembangkan lagi baik secara material yang menyangkut besaran mekanis lainnya seperti sifat susut, rangkai maupun permeabilitas; ataupun secara struktural seperti aplikasinya pada balok beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas dukungan finansial sehingga terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-99/ACI 381R-99. 1999. *Building code requirements for reinforced concrete and commentary*, Am. Detroit, Michigan: Concrete Inst.
- ACI Committee 544. 1988. "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete". *ACI Materials Journal*, Volume 85, No.8: 583-593.
- Antonius dan P. Setiyawan. 2005. *Studi Eksperimental Besaran Mekanis Beton Mutu Tinggi Berserat (Fiber High-Strength Concrete)*. Semarang: Fak. Teknik UNISSULA.
- Antonius, I. Imran dan R. Suhud. 2000. "Studi Perilaku Tegangan-Regangan Beton Mutu Tinggi Terkekang" dalam *Proceeding Seminar Teknologi HAKI 2000, Menjelang Bangkitnya Dunia Konstruksi Indonesia*. Jakarta 31 Agustus 2000.
- Balaguru, P. and Shah, S.P. 1992. *Fiber Reinforced Cement Composites*. McGraw-Hill International Editions.
- Balaguru, P. and Ramakrishnan, V. 1988. "Properties of Fiber Reinforced Concrete: Workability, Behavior under Long-term Loading, and Air-Void Characteristics". *ACI Materials Journal*, Volume 85, No.3: 189-196.
- Balaguru, P. and Ramakrishnan, V. 1986. *Mechanical Properties of Superplasticized Fiber reinforced Concrete Developed for Bridge Decks and Highway Pavements; Concrete in Transportation SP-93*. Detroit, Michigan: ACI.
- Balaguru, P. and Ramakrishnan, V. 1986. "Freeze-Thaw Durability of Fiber reinforced Concrete". *ACI Journal*, Volume 83: 374-382.
- Besari, M.S.; Munaf, D.R. and Hanafiah 1992. "The Effect of Fly-Ash and Strength of Coarse Aggregate to the Mechanical Properties of High Strength Concrete, 17th " dalam *Conf. On Our World in Concrete & Structures*, 25-27 August 1992, Singapore: 25-32.
- Collins, M.P, D. Mitchell and J.G. Mac Gregor 1993. "Structural Design Considerations for High-Strength Concrete". *Concrete International Magazine*, May, 27-34.
- Chern, J.C. and Young, C.H.1990. "Study of Factors Influencing Drying Shrinkage of Steel Fiber Reinforced Concrete". *ACI Materials Journal*, Volume 87:123-129.
- Grzybowski, M. and Shah, S.P. 1990). "Shrinkage Cracking of Fiber reinforced Concrete". *ACI Materials Journal*, Volume 87:138-148.
- Imran, I.; Suarjana, M.; Hoedajanto, D.; Soemardi, B. dan Abduh, M. 2006." Beberapa Pelajaran dari Gempa Yogyakarta; Tinjauan Kinerja Struktur Bangunan Gedung". *Jurnal Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia*, Volume.7, No.1, Mei.
- MacGregor, J.G 1997. *Reinforced Concrete, Mechanics and Design*. third edition Prentice Hall.
- Mansur, M.A.; M.S. Chin; and T.H. Wee 1997."Stress-Strain Relationship of Confined High-Strength Plain and Fiber Concrete". *J. of Materials in Civil Eng.*, Volume 9, No.4, Nov.1997: 171-179.
- Soroushian and Bayashi 1992."Effect of Steel Fiber Reinforced on Fresh Mix Properties of Concrete. *ACI Materials Journal*, title No.89-M 41.
- Soroushian and Bayashi 1991."Fiber Type Effecton the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete". *ACI Materials Journal*, report No.88-M 16.
- Suhendro, B. 1991. *Pengaruh Fiber Kawat Pada Sifat-sifat Beton dan Beton Bertulang* Yogyakarta: PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada.
- Tri Leksono, B.; Suhendro, B. dan Priyosulistyo 1995. *Pengaruh Pemakaian Fiber Bendrat Berkait Secara Parsial pada Perilaku dan Kapasitas Balok Beton Bertulang dengan Model Skala Penuli*. Yogyakarta: BPPS-UGM, 8(3B).