

Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Beton Mutu Tinggi terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Kuat Lentur

M. Krisna Bagus Hidayat¹⁾

Eddy Purwanto²⁾

Bayzoni³⁾

Abstract

Concrete is one of the construction materials that has the advantage of being able to withstand a high compressive strength but has a low tensile strength. To overcome the weaknesses that exist in the concrete, one of the efforts applied is to add fiber in the form of bendrat wire in the concrete in order to increase the tensile strength and flexural strength of concrete. The specimens of this research are concrete cylinder with diameter 15 cm and height 30 cm and concrete beam object with dimension of length, width and height 60 cm, 15 cm, and 15 cm respectively. Tests were performed at 28-days of concrete. While the addition of bendrat wire fiber is done based on the percentage of volume fraction (Vf) addition to the volume of concrete by 0%; 0,299%; 0,695%; and 0,990%. Each variation was made 9 test specimens consisting of 6 cylinders and 3 beams.

The average compressive strength in high quality concrete without bendrat wire has the highest value of 50,0118 MPa. For the average compressive strength value at Vf 0.299%, 0.695%, and 0.990% were 42,2741 MPa, 41,8967 MPa and 39.6320 MPa respectively. While for splitting strength and flexural strength in high quality concrete with volume fraction (Vf) 0,990% has the highest value with the splitting strength of an average of 4,6945 MPa and the average flexural strength of 7,9133 MPa

Keyword : High quality concrete, bendrat wire fiber

Abstrak

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang memiliki keunggulan yaitu mampu menahan kuat tekan yang tinggi tetapi memiliki kuat tarik yang rendah. Untuk mengatasi kelemahan yang ada pada beton, salah satu usaha yang diterapkan adalah menambahkan serat berupa kawat bendrat pada beton tersebut agar dapat meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur beton. Benda uji pada penelitian ini berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta benda uji balok beton dengan dimensi panjang, lebar, dan tinggi secara berurutan 60 cm, 15 cm, dan 15cm. Pengujian dilaksanakan pada saat beton berumur 28 hari. Sedangkan penambahan serat kawat bendrat dilakukan berdasarkan persentase penambahan *volume fraction* (Vf) terhadap volume beton sebesar 0% ; 0,299% ; 0,695% ; dan 0,990%. Setiap variasi dibuat 9 benda uji terdiri dari 6 silinder dan 3 balok.

Kuat tekan rata-rata pada beton mutu tinggi tanpa kawat bendrat memiliki nilai tertinggi sebesar 50,0118 MPa. Untuk nilai kuat tekan rata-rata pada Vf 0,299%, 0,695%, dan 0,990% secara berurutan adalah 42,2741 MPa, 41,8967 MPa dan 39,6320 MPa . Sedangkan untuk kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton mutu tinggi dengan *volume fraction* (Vf) 0,990% memiliki nilai tertinggi dengan kuat tarik belah rata-rata sebesar 4,6945 MPa dan kuat lentur rata-rata sebesar 7,9133 MPa.

Kata kunci : Beton mutu tinggi, serat kawat bendrat

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel : krisnabagus22@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. Surel : eddypurwanto55@gmail.com

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. Surel : bayzoni@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Beton banyak digunakan di berbagai macam konstruksi karena memiliki banyak keunggulan diantaranya kemampuan menahan gaya tekan yang tinggi, dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, ketahanan yang baik terhadap lingkungan sekitar serta proses perawatannya lebih murah dan mudah. Secara struktural beton juga memiliki kelemahan yaitu kekuatan tarik yang rendah dan memiliki sifat getas. Salah satu cara perbaikan dalam beton tersebut adalah dengan menambahkan serat fiber ke dalam adukan beton atau biasa disebut dengan beton fiber.

Suhendro (1991), telah menemukan bahan lokal yang lebih murah dan efisien dibandingkan serat baja yaitu potongan kawat bendrat diameter 1 mm dan panjang 60 mm. Pada penelitian Ferdy Erwanda (2012), telah dilakukan penelitian dengan menambahkan serat galvanis pada beton ringan dengan persentase penambahan *volume fraction* (V_f) 0,3% : 0,75%, dan 1% dari volume beton. Pada penelitian ini didapat persentase optimum pada persentase penambahan V_f 1% dimana *volume fraction* (V_f) adalah persentase volume fiber yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. (Suhendro, 1990). Berdasarkan penjelasan tersebut, maka diperlukan penelitian di laboratorium mengenai pengaruh penambahan kawat bendrat terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton mutu tinggi dengan penambahan *volume fraction* yang sama.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Secara umum beton adalah bahan bangunan yang terbuat dari air, semen portland, agregat halus, dan agregat kasar, yang bersifat keras seperti batuan (Tjokrodinuljo, 2012). Beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat yang lain juga baik.

2.2. Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan sejumlah fiber yang disebarkan secara acak dalam adukan. Perbaikan yang dialami beton dengan adanya penambahan fiber yaitu daktilitas, kekuatan lentur, ketahanan terhadap kejut, *fatigue life*, dan penyusutan.

2.3. Bahan Pembentuk Beton

Material yang digunakan dalam pembentukan beton antara lain semen *portland* jenis PCC, air, agregat kasar, dan agregat halus.

2.4. Superplasticizer

Superplasticizer adalah bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen, sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 30 % dari campuran awal. (Nugraha, P dan Antoni, 2007)

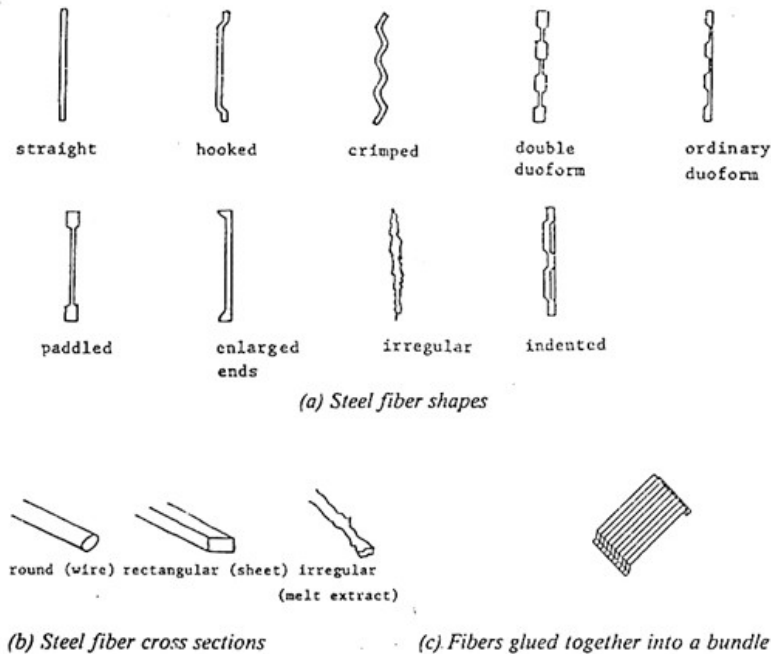
2.5. Serat (Fiber)

ACI *Comitte* 544 mengklasifikasikan tipe serat secara umum menjadi empat antara lain :

- SRFC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*)
- GFRF (*Glass Fiber Reinforced Concrete*)
- SNFRF (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)
- NFRF (*Natural Fiber Reinforced Concrete*)

2.6. Bahan Tambah Serat Kawat Galvanis

Penambahan serat ke dalam adukan beton dipengaruhi berbagai hal yaitu jenis, aspek rasio, persentase serat (*volume fraction*)



Gambar 1. Berbagai bentuk geometri serat baja .(Soroushin & Bayasi. 1991)

2.7. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 1974,2011). Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f'_{cf} = \frac{P}{A} \quad (1)$$

2.8. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik beton/beton fiber dilakukan dengan memberikan tegangan tarik pada beton secara tidak langsung. Spesimen silinder direbahkan dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada beton. Uji ini disebut juga *splitting test* atau *brazillian test*. Kekuatan tarik belah dapat dihitung menggunakan rumus :

$$f_{ct} = 2 \frac{P}{\pi LD} \quad (2)$$

2.9. Kuat Lentur

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah (SNI 4431,2011). Secara sederhana, balok beton digambarkan sebagai struktur *simple beam* dengan beban terpusat masing-masing $\frac{1}{2} P$. Besarnya momen yang dapat mematahkan benda uji adalah momen akibat beban maksimum dari mesin pembebanan dan berat sendiri dari benda uji.

2.10. Kekuatan momen lentur penampang balok beton bertulang

Kekuatan momen lentur nominal untuk beton normal berdasarkan SNI T-15 (1991) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_n = C(d - 0,5 a) \quad (3)$$

Pada analisis balok beton serat, kekuatan tarik beton serat diperhitungkan sebagai penambahan kontribusi pada tulangan tarik untuk memperoleh momen ultimit. Para peneliti terdahulu melakukan analisis tentang kekuatan momen lentur balok bertulang yang diberi serat menurut Purwanto (1999) yaitu Usulan Suhendro (1991), Usulan Henager dan Doherty (1976), serta Usulan Swamy dan Al-Ta'an (1981).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di Laboratorium Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Benda uji yang dipakai berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 24 buah serta benda uji balok beton dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm sebanyak 12 buah. Sedangkan pengujian beton mutu tinggi dilakukan setelah semua benda uji berumur 28 hari.

3.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Semen

Semen yang digunakan yaitu semen PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merk dagang Semen Padang

b. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari daerah Tanjung Bintang, Lampung Selatan

c. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Tanjung, Lampung Selatan yang merupakan batu pecah hasil produksi dari alat *stone crusher*.

d. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari laboratorium bahan dan konstruksi universitas lampung

e. Serat

Serat yang digunakan yaitu kawat bendrat memiliki diameter 1 mm dan panjang 60 mm berkait di kedua ujungnya.



Gambar 2. Bentuk serat kawat bendrat penelitian.

f. Superplasticizer

Superplasticizer yang digunakan adalah tipe F 7055 dengan merk dagang *Naphta Blide* dosis 0,8 – 2 %.

3.3. Peralatan

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan antara lain cetakan, timbangan, satu set saringan, oven, botol *La Chatelier*, piknometer, alat vicat, *concrete mixer*, *slump test apparatus*, *VB-Test apparatus*, vibrator, *microcrack microscope*, *compression testing machine* (CTM), *flexural testing machine* (FTM), dan alat bantu lainnya.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Persiapan bahan

3.4.2. Pengujian bahan penyusun beton

Terdiri dari pengujian agregat halus dan pengujian agregat kasar sesuai dengan peraturan yang ada di ASTM, serta pengujian semen.

3.4.3. Perencanaan campuran (*mix design*)

Rencana campuran antara semen, air, dan agregat-agregat sangat penting untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan. Pada penelitian ini komposisi perancangan campuran beton (*mix design*) mengacu pada aturan SNI 03-2834 (2000).

3.4.4. Pembuatan benda uji

Tabel 1. Jumlah benda uji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur.

% serat kawat	Kode	Pengujian			jumlah sampel (buah)
		kuat tekan silinder uji 28 hari	kuat tarik belah silinder uji 28 hari	Kuat lentur balok uji 28 hari	
0	BZ	3	3	3	9
0,3	BF-03	3	3	3	9
0,7	BF-07	3	3	3	9
1	BF-1	3	3	3	9
Jumlah					36

3.4.5. Perawatan terhadap benda uji (*curing*)

Perawatan ini dilakukan dengan cara merendam benda uji silinder dan balok dalam bak perendam, pastikan benda uji sudah terlepas dari cetakan setelah 24 jam. Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk mencegah terjadinya kehilangan air dalam jumlah besar, beton dapat mengalami retak-retak jika terlalu cepat mengalami penguapan air setelah beberapa saat dilakukan pengecoran.

3.5. Pengujian Beton

Pengujian yang dilakukan pada beton dalam penelitian ini adalah pengujian *slump*, pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur dan dilaksanakan pada umur beton mencapai 28 hari.

3.6. Analisis Hasil Penelitian

Semua hasil yang didapat dari penelitian ini akan ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik hubungan serta penjelasan-penjelasan yang didapat dari hasil pengujian di laboratorium.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil pengujian sifat-sifat fisik material

Pengujian sifat-sifat fisik material yang digunakan sebagai bahan penyusun beton mutu tinggi bertujuan untuk mengetahui data awal mengenai material yang dipakai. Sifat fisik agregat halus yang diuji meliputi kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, kadar lumpur, kandungan zat organik, dan berat volume. Sifat fisik agregat kasar yang diuji meliputi kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, berat volume, dan keausan agregat kasar. Sifat fisik semen yang diuji meliputi berat jenis dan waktu pengikatan.

4.2. Perencanaan Campuran Beton

Pada penelitian ini perencanaan campuran beton menggunakan kuat tekan rencana $f'_c = 55$ Mpa

Tabel 2. Perencanaan campuran beton per m^3 dan serat kawat bendrat.

Material (kg)	Volume fraction (%)			
	0	0,3	0,7	1
Semen	959,0164	959,0164	959,0164	959,0164
Agregat kasar	1310,4693	1310,4693	1310,4693	1310,4693
Agregat halus	460,4557	460,4557	460,4557	460,4557
Air	292,5	292,5	292,5	292,5
Superplasticizer	11,5082	11,5082	11,5082	11,5082
Serat bendrat	0	26,052	60,788	86,84

4.3. Nilai Slump dan VB-Time

Pada penelitian ini nilai slump yang direncanakan berkisar antara 60 – 180 mm. Pemakaian bahan *additive superplasticizer* dengan pemakaian sebesar 1,2% dari berat semen untuk setiap variasi yang digunakan.

Tabel 3. Nilai *slump* dan *VB-time* pada beton serat.

Volume fraction (%)	Aspect Ratio(lf/df)	Slump (cm)	VB-Time (detik)
0%	60	21	15,6
0,3%	60	19	19,2
0,7%	60	16	22,5
1%	60	12	24,3

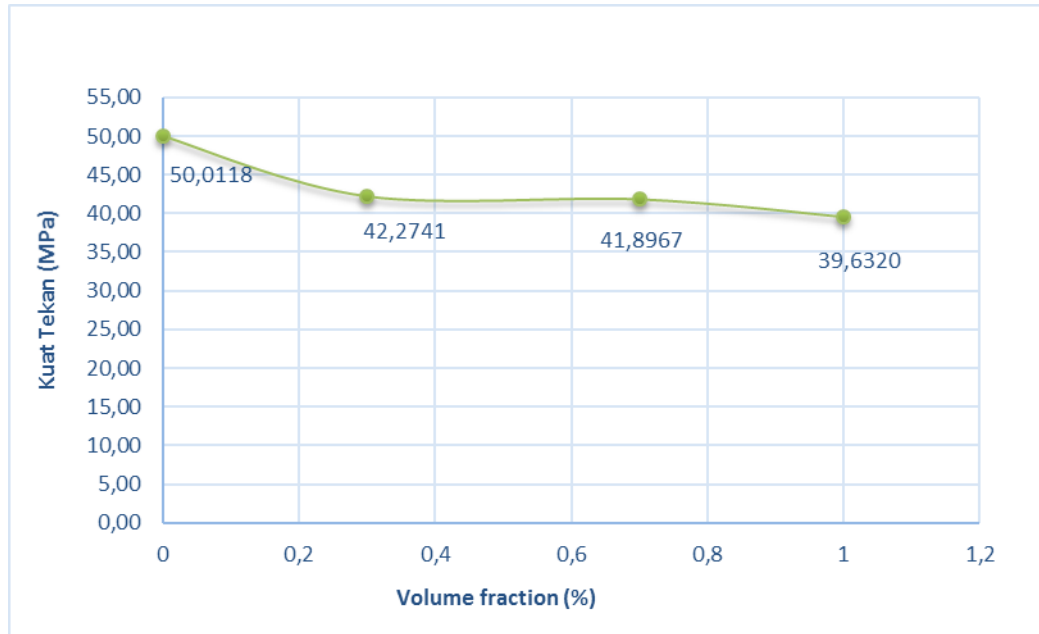
Nilai slump yang didapat dari hasil penelitian tidak sesuai dengan rencana hal ini dikarenakan efek dari penggunaan *superplasticizer*. Nilai *VB-time* yang diperoleh dari hasil penelitian beton serat mutu tinggi berkisar antara 15 – 25 detik sesuai dengan ACI Committee 544-1984.

4.4. Berat Volume Beton

Berat volume beton yang terbesar baik pada sampel silinder maupun balok terdapat pada variasi serat yang memiliki persentase paling besar yaitu 1% dengan nilai $2503,7352 \text{ kg/m}^3$ untuk sampel silinder dan $2656,7901 \text{ kg/m}^3$ untuk balok sedangkan berat volume terkecil terdapat pada beton yang tidak dicampur dengan serat kawat dengan nilai $2445,5453 \text{ kg/m}^3$ untuk sampel silinder dan $2520,9877 \text{ kg/m}^3$ untuk sampel balok. Pada penelitian ini semakin besar nilai penambahan persentase *volume fraction* serat kawat bendrat pada beton maka semakin besar juga nilai berat volume beton tersebut.

4.5. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada saat benda uji silinder telah berumur 28 hari. Setiap variasi campuran dibuat 3 buah benda uji.

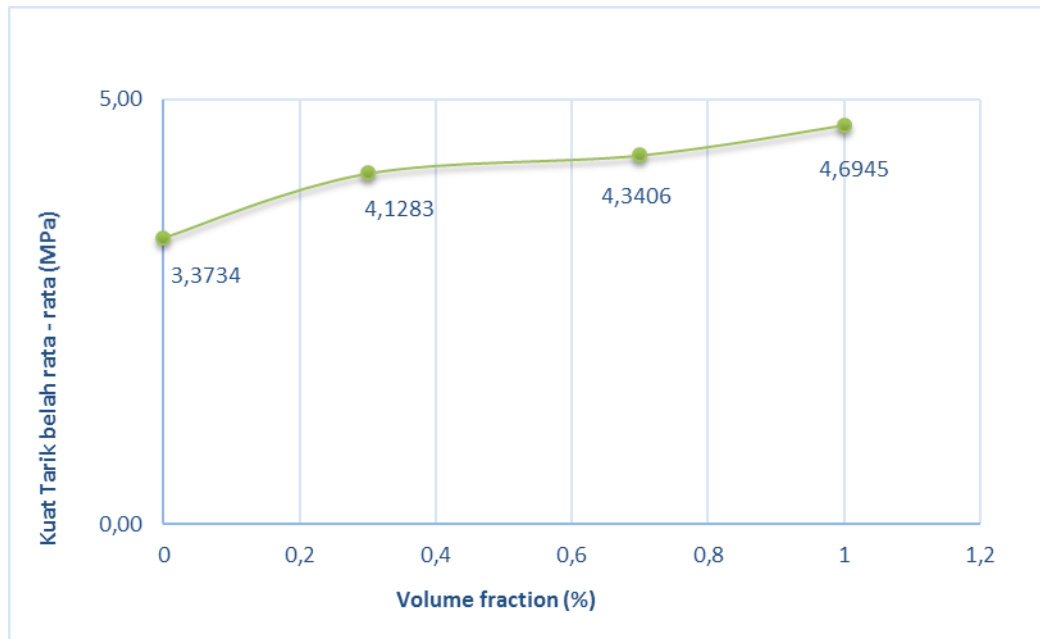


Gambar 3. Grafik hubungan antara *volume fraction* dengan kuat tekan beton.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa kuat tekan rata-rata beton serat kawat bendrat akan semakin menurun dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat dalam campuran. Kuat tekan tertinggi terdapat pada persentase penambahan kawat 0 % yang menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 50,0118 MPa. Kemudian kuat tekan semakin menurun *volume fraction* 1 % yang memiliki nilai kuat tekan sebesar 39,6320 MPa. Penurunan kuat tekan pada beton mutu tinggi yang ditambahkan dengan serat kawat bendrat terjadi karena pada saat pengambilan sampel secara *random* banyak agregat kasar yang tidak terselimuti pasta semen dan penyebaran kawat bendrat secara acak dapat menyebabkan adanya rongga udara (*void*) didalam adukan beton tersebut karena ikatan antar serat yang saling *overlapping* menyebabkan sulitnya pergerakan agregat terutama untuk agregat kasar

4.6. Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilaksanakan pada saat benda uji silinder telah berumur 28 hari. Setiap variasi campuran dibuat 3 buah benda uji. Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tarik beton dengan adanya perbedaan variasi campuran beton.



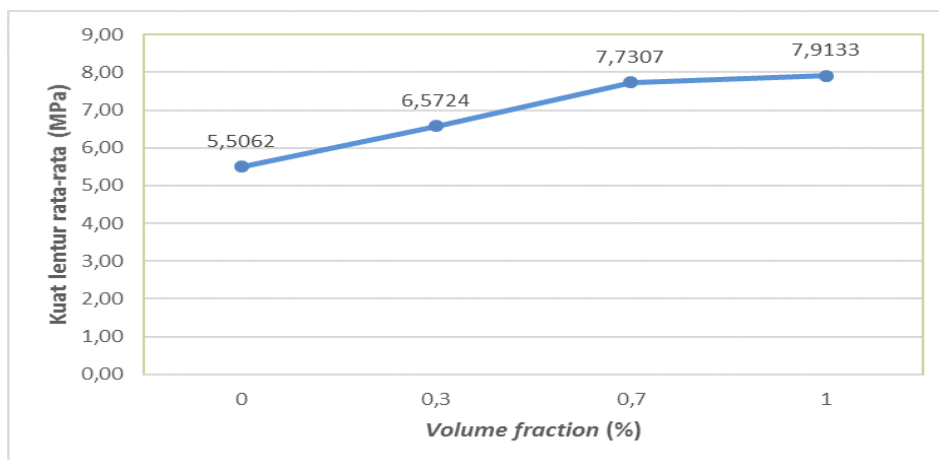
Gambar 4. Grafik hubungan *volume fraction* dengan kuat tarik belah beton.

Pada beton yang tidak dicampur fiber diperoleh kuat tarik sebesar 3,3734 MPa. Saat beton ditambahkan *volume fraction* 0,3% meningkat sebesar 22,3780 % terhadap beton normal menjadi 4,1283 MPa. Selanjutnya, kuat tarik meningkat sebesar 5,1426 % pada *volume fraction* 0,7 % dari *volume fraction* 0,3 % dengan nilai kuat tarik 4,3406 MPa dan meningkat lagi sebesar 8,1533 % pada *volume fraction* 1 % dari 0,7 % dengan nilai kuat tarik 4,945 MPa.

4.7. Kuat Lentur Balok Bertulang

Pengujian kuat lentur beton dilakukan dengan diberi beban terpusat pada jarak 1/3 bentang dan dibebani 2 beban terpusat. Pembebanan dilakukan secara bertahap sampai balok runtuh (*crack*). Perhitungan kuat lentur pada balok beton menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (4)$$



Gambar 5. Grafik hubungan *volume fraction* dengan kuat lentur beton.

Dari pengamatan yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa pada retak awal terjadi pada balok beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan serat ke dalam beton akan menambah kekuatan lentur serta memperkecil terjadinya retakan-retakan akibat pembebanan, dapat membuat beton menjadi tidak mudah retak dan lebih daktil. Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa kuat lentur rata-rata balok beton yang tidak dicampur fiber diperoleh kuat lentur sebesar 5,5062 MPa. Saat beton ditambahkan *volume fraction* 0,3% meningkat sebesar 19,3636 % menjadi 6,5724 MPa. Pada *volume fraction* 0,7 % kuat lentur meningkat sebesar 17,6237 % dari *volume fraction* 0,3 % yaitu 7,7307 MPa dan untuk *volume fraction* 1 % memiliki nilai kuat lentur tertinggi sebesar 7,9133 MPa mengalami peningkatan sebesar 2,3620 % dari *volume fraction* 0,7 %.

4.8. Perbandingan Momen Nominal Kuat Lentur Balok Bertulang

Dalam analisis kuat momen lentur nominal digunakan persamaan-persamaan yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, diantaranya Usulan Henager dan Doherty (1976), Usulan Suhendro (1991), dan Usulan Swamy dan Al – Ta'an (1981).

Tabel 4. Perbandingan kuat momen nominal balok beton bertulang.

Persamaan Prediksi	Momen Lentur Nominal (Nmm)			
	0%	0,3%	0,7%	1%
Hasil Pengujian	7468031,25	7511062,5	8021500	8792093,75
Usulan SK SNI T-15-1991-03	4821708,837	-	-	-
Usulan Suhendro (1991)	-	8385351,5970	8579812,7196	8857939,2658
Usulan Henager dan Doherty (1976)	-	9797339,6358	10045664,2656	10389472,4420
Usulan Swamy dan Al Ta'an (1981)	-	9859390,1067	10111808,7363	10462722,0665

4.9. Analisis Retak Balok Beton Bertulang

Pada pengujian pola retak pembebanan dilakukan dengan interval pembebanan sebesar 20 pada *dial proving ring* kemudian diamati dan digambar pola retak dari balok bertulang.

Tabel 5. Hasil analisis keretakan pada balok beton bertulang.

Balok Lentur	<i>first crack</i>	lebar retak awal (mm)	Lebar retak pada beban ke 100 (mm)
BZ 01	60 (41980 N)	0,03	0,18
BZ 02	52 (36500 N)	0,06	0,4
BZ 03	65 (45410 N)	0,02	0,16
BF 03.1	65 (45410 N)	0,04	0,2
BF 03.2	69 (48150 N)	0,04	0,28
BF 03.3	78 (54320 N)	0,08	0,2
BF 07.1	72 (50210 N)	0,02	0,22
BF 07.2	100 (69410 N)	0,04	0,04
BF 07.3	78 (54320 N)	0,02	0,22
BF 1.1	95 (65980 N)	0,03	0,04
BF 1.2	73 (50890 N)	0,01	0,14
BF 1.3	88 (61180 N)	0,02	0,08

Dari hasil pengamatan pola retak pada semua sampel baik balok beton normal maupun balok beton kawat bendrat, lebar retak awal yang terjadi pada balok beton fiber tidak begitu jauh

berbeda dengan lebar retak awal pada beton normal. Tetapi pada saat beban mencapai *dial proving ring* 100, balok beton fiber dengan penambahan *volume fraction* 1 % memiliki lebar retak paling kecil dibandingkan dengan *volume fraction* 0.3 % dan 0.7 % .

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Penambahan serat kawat bendrat pada beton menjadikan nilai *slump* semakin menurun seiring dengan bertambahnya *volume fraction* dan nilai *VB Time* mengalami peningkatan, sehingga dapat menurunkan tingkat kelecakan adukan beton.
- Pada pengujian rata – rata kuat tekan beton tanpa fiber pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 50,0118 MPa sedangkan kuat tekan rata – rata beton fiber pada *volume fraction* 0,3% sebesar 42,2741 MPa , *volume fraction* 0,7 % sebesar 41,8967 MPa, dan *volume fraction* 1 % sebesar 39,6320 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat.
- Pada pengujian rata – rata kuat tarik belah beton tanpa fiber pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 3,3734 MPa. Sedangkan kuat tarik belah rata – rata beton fiber pada *volume fraction* 0,3% sebesar 4,1283 MPa , *volume fraction* 0,7 % sebesar 4,3406 MPa, dan *volume fraction* 1 % 4,6945 MPa.
- Pada pengujian kuat lentur balok beton bertulang tanpa fiber didapat nilai kuat lentur rata – rata sebesar 5,5062 MPa. Sedangkan nilai kuat lentur rata – rata beton fiber pada *volume fraction* 0,3 % sebesar 6,5724 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 544 1R-96, 2002, *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI Committee 544.
- Antoni, P., 2007, *Teknologi Beton*, Yogyakarta, Andi Offset.
- Henager, C.N., and Doherty, T.J., 1976, *Analysis of Reinforced Fibrous Concrete Beams*, *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 102, No. ST1, pp, 177-188.
- SNI 03-2834, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton*, Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1974, 2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, Jakarta, Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 4431, 2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*, Jakarta, Badan Standarisasi Nasional.
- SNI T-15, 1991, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Standar SNI T-15-1991-03, Yayasan LPMB Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Soroshian, P., And Bayasi, Z., 1987, *Concept Of Fiber Reinforced Concrete*, Proceeding Of The International Seminar On Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, Michigan, USA.
- Suhendro, B., 1991, *Pengaruh Fiber Kawat Lokal Pada Sifat-sifat Beton*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.
- Swamy, R.N., and Al-Ta'an, S.A., 1981, *Deformation and Ultimate Strength in Flexure of Reinforced Concrete Beams Made with Steel Fiber Concrete*, *ACI Journal*, *Proceeding* V. 78, No. 5, pp, 395-405.
- Purwanto, E., 1999, *Pengaruh Fiber Lokal pada Perilaku dan Kuat Torsi Ultimit Balok Beton Bertulang*, Yogyakarta, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Tjokrodimuljo, K., 2012, *Teknologi Beton*, Yogyakarta, Biro Penerbit KMTS FT UGM.