

PENGARUH FIBER BENDRAT TERHADAP KUAT GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN SENGGANG

Agustinus Wahjono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jln. Babarsari 43, Yogyakarta

e-mail : agustinus_wahyono@yahoo.com

Abstract: The research was conducted to prove experimentally that the ultimate shear strength of reinforced concrete beam would increase significantly when a certain amount of local fiber was added into the concrete mix. Six reinforced concrete beams with typical dimension of 120 mm x 240 mm x 1600 mm were made and divided into: (a) three beams were made of non fibrous concrete with vertical stirrups (code D1, D2, and D3), (b) three beams were made of fibrous concrete with vertical stirrups (code D1F, D2F, and D3F). The local fiber weight added into the mixture were 46.76 kg per cubic meter of concrete, $V_f = 0.7\%$. Plain round steel bars with 16 mm diameters were used to provide the main tensile reinforcement. The yield stress of the steel was 446 MPa. Plain round steel bars with 16 mm and 10 mm diameters respectively were used to provide the main compressive reinforcement, the yield stress of the steel were 446 MPa and 379 MPa respectively. Plain round bars with 6 mm diameters were used to be vertical stirrups, the yield stress of the steel was 314 MPa. The beams were simply supported at two points, having spans of 1300 mm, and symmetrically loaded by 0.5 P at the point located 400 mm from the supports. The load was applied to the beams with an increment of $P = 1$ ton until the beams ultimate capacity was reached. From the observation of the test result, it was concluded that the ultimate shear strength of local fibrous reinforced concrete beam increased 20% in comparison with the ultimate shear strength of the non fibrous reinforced concrete beams.

Keywords: shear strength, local fiber, reinforced concrete beam

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan secara eksperimen bahwa kuat geser ultimit suatu balok beton bertulang akan meningkat bila ditambah fiber lokal dalam adukan beton balok tersebut. Balok beton bertulang yang dibuat ukuran 120 mm x 240 mm x 1600 mm sebanyak 6 buah, dengan perincian: (a) tiga buah balok terbuat dari beton biasa dengan sengkang vertikal (kode D1, D2, dan D3), (b) tiga buah balok terbuat dari beton fiber dengan sengkang vertikal (kode D1F, D2F, dan D3F). Berat fiber per meter kubik beton sebesar 46,76 kg, $V_f = 0,7\%$. Tulangan tarik dipakai tulangan baja polos berdiameter 16 mm dengan tegangan leleh 446 MPa. Tulangan desak dipakai tulangan baja polos berdiameter 16 mm dan 10 mm dengan tegangan leleh 446 MPa dan 379 MPa. Tulangan sengkang vertikal dipakai tulangan baja polos berdiameter 6 mm dengan tegangan leleh 314 MPa. Balok tersebut ditumpu sendi rol pada ujung ujungnya dengan jarak antar tumpuan 1300 mm. Dua beban vertikal ke bawah masing masing sebesar 0,5 P diberikan pada jarak 400 mm dari tumpuan tumpuannya. Pembebanan dilakukan bertahap dengan interval $P = 1$ ton sampai tercapai beban ultimit balok. Dari hasil pengamatan atas pengujian beban dapat disimpulkan bahwa kuat geser ultimit balok beton bertulang dengan fiber lokal meningkat sebesar 20% dibandingkan dengan kuat geser ultimit balok beton bertulang biasa.

Kata kunci: kuat geser, fiber bendrat, balok beton bertulang.

PENDAHULUAN

Fiber baja memiliki potensi menguntungkan untuk mengganti sebagian atau seluruh sengkang sebagai tulangan geser pada balok beton bertulang. Keuntungan keuntungan tersebut adalah: (1) Fiber terdistribusi secara random di seluruh volume beton serta berjarak lebih rapat dari pada yang diperoleh dengan

penulangan batang baja, (2) beban retak pertama dan kuat tarik ultimit meningkat oleh fiber, (3) kuat geser friksi meningkat. Dari sejumlah pengujian diketahui bahwa sengkang dan penulangan fiber dapat digunakan bersama sama secara efektif (*ACI Committee 544, 1988*). Untuk mengatasi harga fiber baja yang mahal maka dicoba mengganti fiber baja dengan kawat bendrat yang dipotong potong dengan

panjang 60 mm yang ujung ujungnya diberi kait agar menyerupai *hooked steel fiber*.

BATASAN MASALAH

Batasan batasan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) ukuran balok 120 mm x 240 mm x 1600 mm; (2) Fraksi Volume Fiber 0,7%; (3) Tulangan tarik dipakai tulangan baja polos Ø 16 mm dengan $F_y = 446$ MPa; (4) Tulangan desak dipakai tulangan baja polos Ø 16 mm ($F_y = 446$ MPa) dan Ø 10 mm ($F_y = 379$ MPa); (5) Tulangan sengkang dipakai tulangan baja polos Ø 6 mm ($F_y = 314$ MPa); (6) Kuat tekan beton 35 MPa; (7) Fiber lokal type *hooked fiber* dengan panjang 60 mm, diameter 1 mm dengan *aspect ratio* 60.

TINJAUAN PUSTAKA

Sharma (1986) melakukan penelitian untuk memperlihatkan bahwa fiber baja dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan kuat geser beton. Dalam penelitian tersebut digunakan 7 buah balok berukuran 150 mm x 300 mm x 1900 mm. Kuat tekan beton 45 MPa. Rasio bentang geser/tinggi efektif $a/d = 1,9$. Fiber yang digunakan *hooked steel fiber* 0,6 x 50 mm, dengan fiber *volume traction* 0,96 dan 0,90%. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa: (1) fiber baja dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan kuat geser beton, (2) balok beton bertulang fiber baja mempunyai kekuatan pasca retak (*post-cracking strength*) yang tinggi. (3) balok bertulang fiber baja lebih liat dan mempunyai kemampuan menyerap energi yang lebih besar dibandingkan balok beton bertulang normal, (4) dengan adanya fiber dalam beton akan membatasi perambatan retak dan memberikan retak yang lebih seragam, (5) rumus prediksi tegangan geser balok beton fiber berhasil diusulkan, (6) untuk balok tanpa sengkang kuat gesernya meningkat 38% oleh pengaruh fiber, sedangkan untuk balok dengan sengkang vertikal kuat gesernya meningkat 32,5%, peningkatan kuat geser maksimum didapati pada balok S3F yaitu 38%.

Nayaranan dan Darwish (1987) melakukan penelitian untuk menyelidiki perilaku balok beton bertulang fiber baja yang menderita beban geser. Dalam penelitian ini 10 buah balok menggunakan sengkang konvensional,

sedangkan 33 buah balok lainnya menggunakan penulangan geser dengan *crimped steel fiber*. Parameter parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fiber volume fraction*, *fiber aspect ratio*, kuat tekan beton, prosentase tulangan memanjang, dan rasio bentang geser / tinggi efektif. Parameter parameter tersebut dibuat bervariasi. Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah: (1) kuat geser retak pertama meningkat signifikan akibat mekanisme penahanan retak oleh fiber; (2) perbaikan kuat geser ultimit oleh fiber setingkat dengan yang didapatkan dari sengkang konvensional; (3) peningkatan volume fiber lebih dari 1% tidak menghasilkan perbaikan kuat geser; (4) pola retak yang berkembang pada balok beton bertulang fiber pada umumnya serupa dengan yang berkembang pada batok beton bertulang dengan sengkang konvensional; (5) jarak retak pada balok beton fiber berkurang menjadi seperlima jarak retak pada balok balok tanpa sengkang, hal ini disebabkan tegangan pada balok beton fiber terdistribusi lebih merata dibandingkan dengan tegangan pada balok konvensional; (6) jenis kegagalan balok berubah dari kegagalan geser menjadi kegagalan momen bila *fiber volume fraction* meningkat melebihi nilai optimum; (7) dengan prosentase fiber yang tinggi, balok dapat terhindar dari kegagalan geser *catastrophic*; (8) peningkatan kuat geser oleh fiber yang didapatkan bila digunakan rasio a/d yang lebih kecil; (9) keefektifan tahanan pasak akan meningkat seiring dengan meningkatnya faktor fiber.

Niema (1991) mempelajari pengaruh fiber baja pada perilaku dan kekuatan balok beton bertulang oleh geser. Hasil penelitian ini memperlihatkan pengaruh fiber baja dalam perbaikan beban retak pertama (*first crack load*) dan beban ultimit balok beton bertulang di bawah geser. Sembilan buah balok beton bertulang fiber dan sebuah balok beton bertulang biasa dengan ukuran 100 mm x 200 mm x 2100 mm diuji dengan sistem pembebanan dua titik (*two point loading*). Fiber yang digunakan *crimped steel fiber* (*aspect ratio* 63,83; 95,75; 127,7) dengan kandungan fiber 0,4, 0,7, dan 1,0%. Sebagai tulangan memanjang digunakan baja ringan dengan tegangan leleh 40 ksi. Rasio bentang geser/tinggi efektif a/d adalah 3,86. Sengkang

vertikal dibuat dari tulangan baja dengan diameter 6 mm, jarak antar sengkang 125 mm.

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah: (1) fiber baja berpengaruh pada perilaku geser suatu balok beton bertulang, (2) kuat retak pertama meningkat secara nyata sebanding dengan peningkatan *fiber aspect ratio*, (3) prosentase volume fiber berpengaruh kuat pada kuat geser ultimit, (4) keuletan dan daktilitas meningkat sebanding dengan peningkatan prosentase volume dan *fiber aspect ratio*.

Wahyono (1996) dengan balok-balok beban bertulang berukuran 120 mm x 240 mm x 1600 mm, mendapati bahwa dengan penambahan fiber bendrat *hooked* (panjang 60 mm, diameter 1 mm) sebanyak 46,76 kg dalam satu meter kubik beton kuat geser akan meningkat sebesar 82,6% pada balok beton bertulang tanpa sengkang.

LANDASAN TEORI

Kuat tekan beton ditentukan sebagai tegangan normal tekan maksimum dari pengujian tekan silinder beton berukuran diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Tegangan maksimum dihitung dengan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

keterangan:

f_c = tegangan tekan maksimum,

P = beban runtuh tekan,

A = luas tampang silinder beton.

Tegangan geser rata rata pada suatu balok beton bertulang dihitung dengan rumus :

$$v = \frac{V}{b d} \quad (2)$$

keterangan:

v = tegangan geser rata rata,

V = gaya geser,

b = lebar balok,

d = tinggi efektif balok, yaitu jarak antara serat atas dengan titik berat tulangan tarik.

Gaya geser yang terjadi pada sengkang vertikal dihitung dengan rumus yang diusulkan oleh ACI *Committe* 318, 1983 sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_v F_v d}{s} \quad (3)$$

keterangan:

A_v = luas tampang sengkang,

f_y = tegangan luluh sengkang,

s = jarak antar sengkang,

d = tinggi efektif balok.

Kuat tarik belah beton ditentukan dengan pengujian silinder beton berukuran $D = 150$ mm dan tinggi $L = 300$ mm. Kuat tarik belah dihitung dengan rumus ASTM C 496 sebagai berikut:

$$f_t = \frac{2 P}{\pi L D} \quad (4)$$

keterangan:

f_t = tegangan tarik maksimum,

P = beban retak tekan,

L = tinggi silinder,

D = diameter silinder.

PELAKSANAAN PENELITIAN

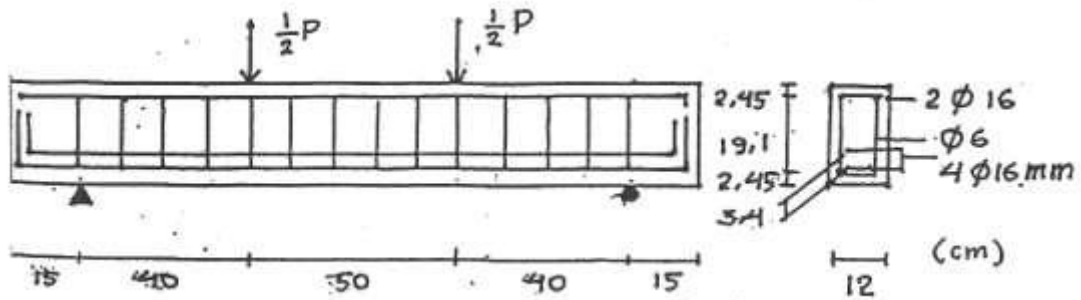
Bahan: (1) pasir berasal dari Krasak dengan gradasi masuk daerah II bermodulus kehalusan 2,56 adapun kandungan lumpurnya mencapai 7,28% sehingga harus dicuci dulu sebelum digunakan; (2) kerikil berasal dari Krasak dengan ukuran maksimum 20 mm, modulus kehalusan 6,67 jadi gradasi butiran memenuhi syarat untuk adukan beton; (3) semen tipe I merk Tiga Roda; (4) Air setempat yaitu Laboratorium Struktur FT-UGM; (5) fiber bendrat tipe *hooked fiber* panjang 60 mm diameter 1 mm dengan *aspect ratio* 60; (6) bahan tambah semen posolan produksi PT Indocement Tunggal Prakasa dan *superplasticizer sikament 520*.

Alat: (1) Loading frame digunakan untuk pengujian balok geser, memiliki rongga bebas 200 x 110 cm dengan kekuatan 20 ton; (2) dongkrak hidrolis yang digunakan untuk membangkitkan beban, kapasitasnya 25 ton dengan merk Maruto; (3) mesin desak beton yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton, kapasitas 200 KN merk Maruto; (4) alat pres bendrat untuk membuat fiber; (5) mesin aduk beton; (6) kerucut Abrams; (7) alat getar beton; (8) V-B Aparatus untuk mengukur *v-b times* adukan fiber.

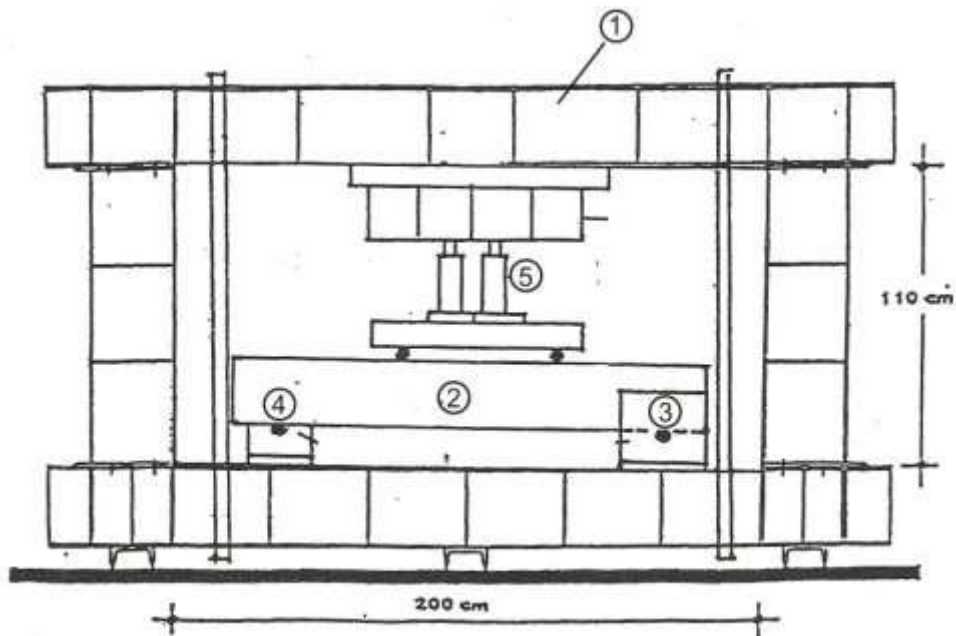
Adapun jalannya penelitian ini melalui tahapan berikut ini: (1) menghitung perbandingan campuran adukan dengan pedoman ACI *Committe* 544 dengan hasil seperti pada Tabel 1; (2) membuat 3 buah balok beton bertulang dengan beton biasa dan 3 buah lainnya dengan beton fiber. Adapun datanya dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Perbandingan Campuran Untuk Setiap 0,23 m³ Beton

Campuran	V (%)	Sp	Berat (Kg)					
			Fiber	Semen	Pasir	Kerikil	Air	FlyAsh
BB	0	0,99	0	90	199,97	199,97	38,99	10
BF	0,7	0,99	10,75	89,36	198,57	198,57	38,72	9,93



Gambar 1. Benda Uji Balok Beton Bertulang



Keterangan Gambar:

- 1 = loading frame
- 2 = benda uji
- 3 = sendi
- 4 = rol
- 5 = dongkrak hidrolis

Gambar 2. Setting-up Pengujian Geser Balok

Data lainnya adalah, Lebar balok (b) = 120 mm; tinggi balok (h) = 240 mm; panjang bentang bersih (l) = 1600 mm; tinggi efektif (d) = 19,936 cm; bentang geser (a) = 40 cm; kuat tarik beton (f_t) = 5,42 MPa; luas tampang sengkang vertikal (A_v) = 46,971 mm²; tegangan

luluh sengkang (f_{ys}) = 314 MPa; jarak antar sengkang (s) = 100 mm; rasio tinggi efektif bentang geser (d/a) = 0,4984; rasio bentang geser efektif (a/d) = 2; tegangan luluh baja (f_y) = 64,67 ksi; panjang fiber (l_f) = 60 mm; diameter fiber (d_f) = 1 mm; fiber volume

$fraction (V_f) = 0,00$; faktor lekatan fiber (d/f) = 0,5; prosentase tulangan tarik memanjang (P) = 0,0301; kuat tekan beton (f_c') = 49,62 MPa; faktor fiber (F) = 0,21; kuat tarik beton (f_t) = 14,545 MPa. (2) Pengujian geser balok beton bertulang dilakukan pada umur 28 hari. *Setting-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.

Dalam pengujian ini balok beton ditempatkan pada sebuah *loading frame* dan ditumpu secara sederhana pada kedua tumpuannya yang berjarak 130 cm. Pembebanan simetris pada dua titik yang masing masing berjarak 400 mm dari tumpuan balok. Di tengah balok dipasang *dial gage* untuk mengukur besarnya defleksi vertikal. Pembebanan diberikan oleh dongkrak hidrolik dengan tekanan oli yang dipompakan dari sebuah pompa hidrolik yang telah dilengkapi dengan jarum penunjuk beban. Pengujian beban dilakukan secara bertahap dengan interval p sebesar 1 ton, dan dicatat besarnya besarnya defleksi di tengah bentang, beban retak pertama & kuat geser balok. Perambatan retak secara polanya juga diamati dan digambar.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian nilai slump, *V-B Time*, kuat tekan & kuat tarik belah dapat dilihat pada Tabel 2

Nilai slump adukan BF jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai slump adukan BB. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fiber pada adukan beton akan menurunkan kelecakan adukan. Nilai *V-B Time* BF sebesar 12 detik menunjukkan kelecakan adukannya cukup baik.

antara 5 - 25 detik. Oleh pengaruh fiber kuat tekan beton meningkat sebesar 62,29%. Peningkatan tersebut adalah sangat tinggi bila dibandingkan hasil penelitian sebelumnya yaitu antara 0% -15% (Soroushian & Bayasi, 1987). Kuat tarik BF meningkat sebesar 63,25% dan mekanisme kegagalan tariknya bersifat liat. Hal ini senada dengan hasil penelitian Soroushian & Bayasi (1987). Beban retak pertama, beban geser ultimit baik BB maupun BF dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Slump, *V-B Time*, Kuat Tekan & Kuat Tarik Beton.

Kode Camp	slump (cm)	<i>V-B Time</i> (dt)	Kuat tekan rata rata (MPa)	Kuat tarik rata-rata (MPa)
BB	6	9	30,575	3,32
BF	1,5	12	49,62	5,42

Keterangan :

BB = Beton biasa

BF = Beton fiber

Tabel 3. beban retak 1 & beban geser ultimit.

Campuran	Balok	Beban retak 1 (ton)	Beban geser ultimit (ton)
BB	D1	6	10,50
BB	D2	6,25	11,75
BB	D3	5,75	10,25
BF	D1F	5	11,50
BF	D2F	6	14,00
BF	D3F	7	13,50

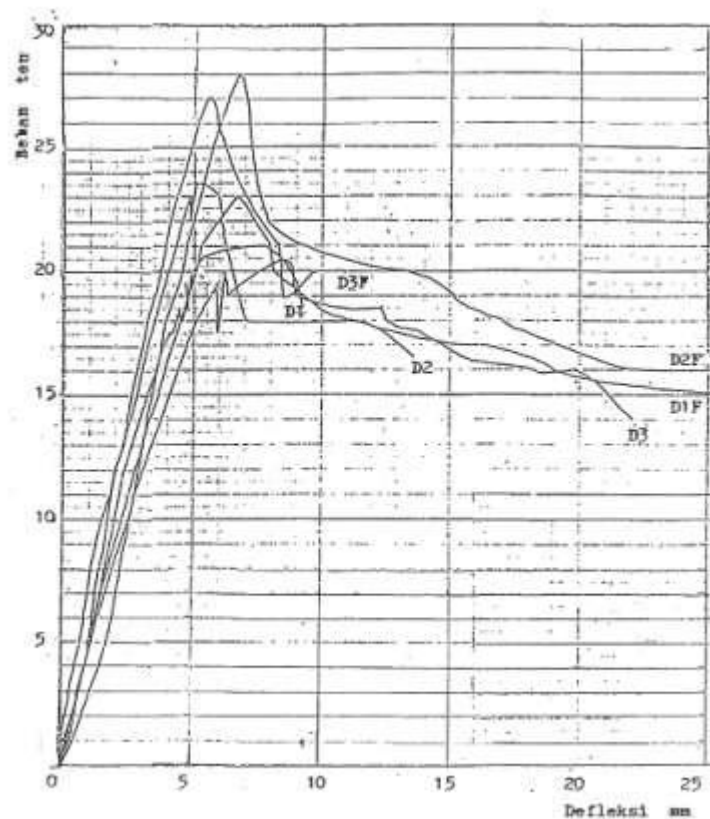
Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa secara rerata beban retak 1 BF tidak meningkat. Namun peningkatan beban retak 1 terbesar dicapai oleh balok D3F yaitu sebesar 16,67%. Sedangkan beban geser ultimit BF meningkat sebesar 20%. peningkatan beban geser ultimit paling tinggi dijumpai pada balok D2F yaitu sebesar 29,27%. Hal ini senada dengan penelitian penelitian sebelumnya, lihat Tabel 4.

Kurva beban lendutan balok baik untuk BB maupun BF dapat dilihat pada Gambar 3. Tampak dari Gambar 3 bahwa balok D2F

terbaik. Mulai awal pembebanan hingga beban ultimit balok berperilaku elastik, kurva beban lendutan linier. Setelah mencapai puncaknya kurva berubah inelastik yang terus menurun sangat landai sampai akhir pengujian. Bila dibandingkan dengan kurva beban lendutan pada balok tanpa sengkang (Gambar 4) terlihat bahwa kekuatan balok kelompok D didekati kekuatan balok kelompok SF. Hal ini mengindikasikan peranan sengkang sebagai penahan geser dapat digantikan oleh fiber.

Tabel 4. Peningkatan Kuat Geser Ultimit balok BF

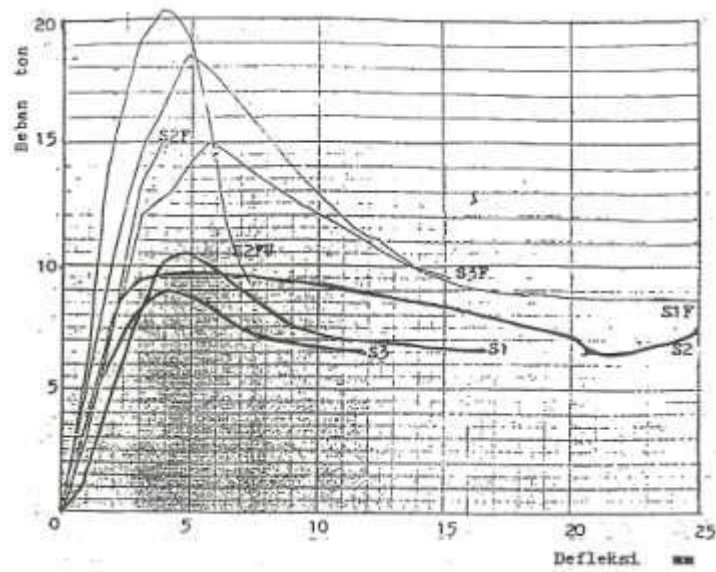
No. Blk	Peneliti	Aspect Ratio	Type fiber	Vol fiber (%)	a/d	Kuat tekan	Peningkatan
9	Niema	63,83	<i>crimp</i>	0,7	3,86	24,75	4,26
10	Niema	63,83	<i>crimp</i>	1,0	3,86	25,16	12,17
D3F	Sharma	83,33	<i>hook</i>	0,9	1,9	47,7	29
D4F	Sharma	83,33	<i>hook</i>	0,9	1,9	43,2	36
D1F	Penulis	60	<i>hook</i>	0,7	2	49,62	6,19
D2F	Penulis	60	<i>hook</i>	0,7	2	49,62	29,27
D3F	Penulis	60	<i>hook</i>	0,7	2	49,62	24,65

**Gambar 3.** Kurva Beban Lenturan Balok Dengan Senggang

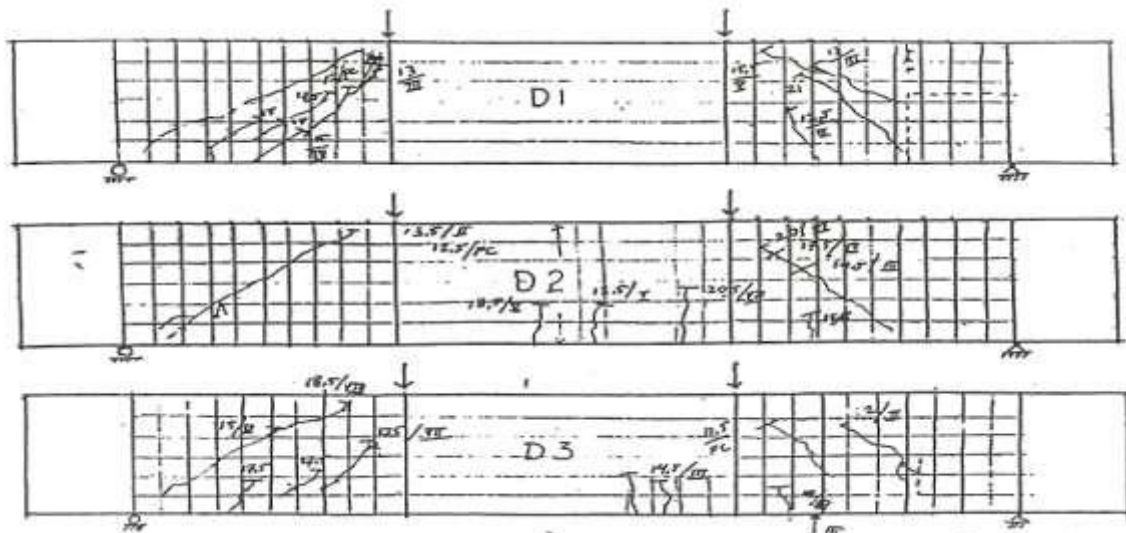
Pada balok balok BB (D1,D2,D3) terdapat retak retak di daerah lentur yang tidak melebar dengan bertambahnya beban. Kegagalan geser yang terjadi 4,5 s/d 5,5 ton setelah tercapainya beban retak pertama. Retak-retak diagonal merambat dengan cepat. Setelah pengujian terdapat banyak gumpalan beton lepas.

Pada balok balok BF (D1F,D2F,D3F) memperlihatkan daktilitas yang cukup besar,

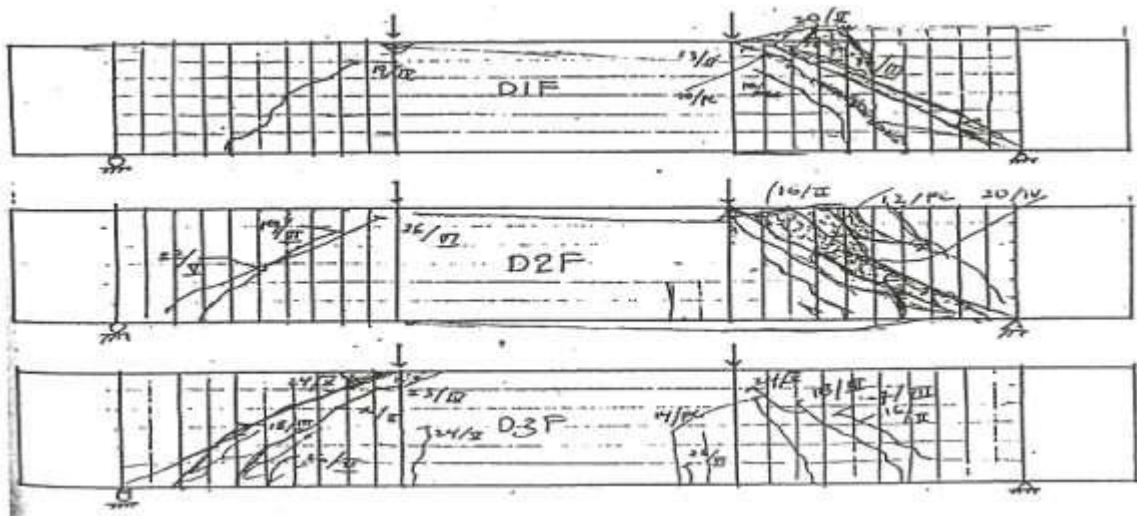
juga kekuatan setelah retak yang lebih besar. terbentuk retak diagonal yang sangat banyak yang berkembang dengan lambat untuk setiap peningkatan bebannya. Kegagalan geser terjadi 6,5 s/d 8 ton setelah tercapainya beban retak pertama. Retakan di daerah lentur lebih sedikit. Pola dan perkembangan retak baik untuk balok BB maupun balok BF dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4. Kurva beban Lendutan Balok Tanpa Senggang



Gambar 5. Pola & Perambatan Retak Balok BB



Gambar 6. Pola & Perambatan Retak Balok BF

KESIMPULAN

Dengan menambahkan fiber lokal yang terbuat dari potongan potongan kawat bendrat dengan bentuk *hooked* ke dalam adukan beton sebanyak 46,76 kg per m³ beton diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (1) Keleccakan adukan beton menurun dari slump 6 cm menjadi 1,5 cm; (2) *V-B Time* adukan BF sebesar 12 detik masih memnuhi persyaratan ACI Committee 544 sebesar 5 s/d 25 detik; (3) Kuat tekan BF meningkat 62,29% dinilai sangat tinggi bila dibandingkan peningkatan 0 s/d 15% dalam penelitian sebelumnya; (4) Kuat tarik BF meningkat sebesar 63,25% dan mekanisme kegagalan tariknya bersifat liat; (5) Kuat geser balok BF meningkat 20%, sedang peningkatan tertinggi dicapai balok D2F, yaitu sebesar 29,27%; (6) Secara rerata tidak ada peningkatan beban retak pertama, namun secara individual beban retak pertama balok D3F meningkat 16,67%; (7) Peranan sengkang sebagai penahan geser terbukti dapat digantikan oleh fiber; (8) Retak geser diagonal pada balok BF merambat/ menyebar melalui proses yang lebih lambat dibandingkan yang terjadi pada balok BB.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1982, *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, Report ACI 544. IR-81, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- Anonim, 1984, *Guide for Specifying, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*, Title 81-15, ACI 544, 3R, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- Anonim, 1988, *Design Consideration for Steel Fiber Reinforced Concrete*, Title 85 - 552, ACI 544, 4R, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- El-Niema, E.J., 1991, *Reinforced Concrete Beams With Steel Fiber Under Shear*, Title no. 88-521, ACI Structural Journal, American Concrete Institute.
- Narayanan, R., and Darwish, I.Y.S., 1987, *Use of Steel Fiber as Shear Reinforcement*, Title no. 84 - 523, ACI Structural Journal, American Concrete Institute.
- Sharma, A.K., 1986, *Shear Strength of the Steel Fiber Reinforced Concrete Beams*, Title no. 83-556, ACI Structural Journal, American Concrete Institute.
- Soroushian, P., and Bayasi, Z., 1987, *Concept of Fiber Reinforced Concrete*, Proceeding of the International Seminar On Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, Michigan.
- Soroushian, P., and Bayasi, Z., 1987, *Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete*, Proceeding of the International Seminar On Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, Michigan.
- Wahjono, A., 1996, *Pengaruh Fiber Bendrat Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang*, Tesis, UGM, Yogyakarta.