

# KORELASI NILAI KOEFISIEN ARAH SERAT BETON TERHADAP KEKUATAN TARIK LENTUR PADA BETON DENGAN SERUTAN BAJA MAUPUN HAREX SF

Lilis Zulaicha<sup>1</sup>, Marwanto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Sipil  
STTNAS Yogyakarta  
Jalan Babarsari no. 1, Depok-Sleman, Yogyakarta  
<sup>1</sup>lilis\_zulaicha@yahoo.com

## Abstract

*Concrete has high compressive strength that is capable of supporting a large and heavy structures. But concrete has a low tension strength and brittle nature (Brittle). The weakness of this concrete properties can be improved by providing treatment such as provide fiber. There are several fibers that can be used to improve the properties of concrete and one of them is the steel fibers. Steel fibers possess the strength and modulus of elasticity which is relatively high. Moreover steel fibers do not change the shape of the influence of alkali in the cement. Imposition in a long period of time does not affect the mechanical properties of steel fiber. Bond in the composition of the mixture can be increased because fastening mechanically. The study used the steel shavings and fiber materials Harex SF.*

*The aim of this examination was intended to determine the coefficient of concrete fiber orientation at the same time the value of flexural tension strength of concrete produced in the concrete mix wearing Harex SF fiber or steel shavings.*

*Steel fiber used in this study using the percentage of 1 until 4 percent of the weight of the concrete mix and perform quality control for the split tension strength of concrete at 28 days. From this research, the percentage of 3 percent as the optimum value based on the ease of doing the concrete (workability) used for research flexural tension strength of concrete and fiber orientation coefficient of concrete in the concrete with steel shavings and concrete with fibers Harex SF.*

*From the testing that has been done shows: flexural tension strength fiber-reinforced concrete Harex SF 3 percent of 5,037 MPa and flexural tension strength of concrete with steel shavings of 11,035 MPa and the coefficient of fiber direction concrete well with fiber Harex SF and shavings of steel both are between 0 and 1 (0 less than or equal to eta of phi less than or equal to 1) with an average value close to 0, which means both fibers are working properly so that is proven to increase the tension strength of flexural concrete.*

*Keywords: Harex SF, flexural tension strength, fiber orientation coefficient*

## Abstrak

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi sehingga mampu mendukung struktur bangunan besar dan berat. Tetapi beton mempunyai kekuatan tarik rendah dan sifatnya getas (*Brittle*). Kelemahan dari sifat beton ini dapat diperbaiki dengan jalan memberikan perlakuan kepada beton diantaranya dengan memberikan serat. Ada beberapa serat yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat beton dan salah satunya adalah serat baja. Serat baja memiliki kekuatan serta modulus elastisitas yang relatif tinggi. Selain itu serat baja tidak

mengalami perubahan bentuk terhadap pengaruh alkali dalam semen. Pembebanan dalam jangka waktu yang lama tidak berpengaruh terhadap sifat mekanikal dari serat baja. Ikatan dalam komposisi campuran dapat meningkat karena pengikatan secara mekanikal. Penelitian ini memakai bahan serutan baja dan serat Harex SF.

Tujuan dari penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai koefisien arah serat beton sekaligus nilai kuat tarik lentur beton yang dihasilkan pada campuran beton yang memakai serat Harex SF maupun serutan baja.

Serat baja yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan prosentase 1 sampai dengan 4 persen dari campuran beton dan melakukan kontrol kualitas untuk kuat tarik belah beton pada umur 28 hari. Dari penelitian ini diperoleh prosentase 3 persen sebagai nilai optimum berdasar kemudahan dalam mengerjakan adukan beton (*workability*) yang dipakai untuk penelitian kekuatan tarik lentur beton dan nilai koefisien arah serat beton pada beton dengan serutan baja maupun beton dengan serat Harex SF.

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil: kekuatan tarik lentur beton serat Harex SF 3 persen sebesar 5,037 Mpa dan kekuatan tarik lentur beton dengan serutan baja sebesar 11,035 MPa. dan nilai koefisien arah serat beton baik dengan serat Harex SF maupun serutan baja keduanya berada diantara 0 dan 1 (0 kurang dari sama dengan  $\phi$  dari phi kurang dari sama dengan 1) dengan nilai rata-rata mendekati 0 yang berarti kedua serat tersebut bekerja dengan baik sehingga terbukti dapat meningkatkan kuat tarik lentur beton.

Kata kunci: HAREX SF dan serutan baja, kuat lentur, koefisien arah serat

## 1. Pendahuluan

Beton serat adalah beton yang cara pembuatannya ditambah serat. Tujuan penambahan serat tersebut adalah untuk meningkatkan kekuatan tarik beton, sehingga beton tahan terhadap gaya tarik akibat, cuaca, iklim dan temperatur yang biasanya terjadi pada beton dengan permukaannya yang luas. Sifat fisis beton serat adalah membuat beton menjadi lebih kaku sehingga memperkecil nilai slump serta membuat waktu ikat awal (*initial setting*) lebih cepat.

Jenis serat yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat kurang baik dari beton telah dilaporkan oleh ACI Committee 544, 1982. Bahan yang dimaksud adalah baja (*steel*), plastic (*polypropylene*), kaca (*glass*), karbon (*carbon*). Untuk keperluan *non structural* serat alamiah (*natural fiber*) seperti ijuk dan serat tumbuhan lainnya juga bisa dipakai. Bahan-bahan serat tersebut masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam memperbaiki sifat-sifat beton. Dengan demikian pemilihan jenis bahan serat perlu disesuaikan dengan sifat yang akan diperbaiki. Beberapa sifat tambahan yang dimiliki serat, seperti kemudahan waktu pencampuran, ketahanan terhadap korosi dan sebagainya merupakan bahan pertimbangan dalam penentuan pemakaian serat. Serat baja dan serat kaca lebih banyak dipakai untuk keperluan struktur, karena serat tersebut mempunyai faktor-faktor prinsip penguat beton, yaitu kekuatan leleh, daktilitas dan lekatan yang cukup.

Serat baja memiliki kekuatan serta modulus elastisitas yang relatif tinggi. Selain itu serat baja tidak mengalami perubahan bentuk terhadap pengaruh alkali dalam semen. Pembebanan dalam jangka waktu yang lama tidak berpengaruh terhadap sifat mekanikal dari serat baja. Ikatan dalam komposisi campuran dapat meningkat karena pengangkeran secara mekanikal. Kelemahan yang dimiliki dari serat baja ini adalah terjadinya korosi apabila serat tidak dalam posisi terlindung dalam beton. Selain itu serat baja akan menambah berat beton.

## 2. Landasan Teori

Dasar pemakaian serat baja ke dalam adukan beton adalah memberikan tulangan secara acak, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton di daerah tarik yang terlalu dini akibat pembebanan (Soroushian & Bayasi, 1987). Dengan penambahan serat ini ternyata menjadikan beton menjadi tahan retak dan tahan benturan serta dapat memperbaiki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Beton akan menjadi lebih daktail
- b. Ketahanan terhadap kejut
- c. Peningkatan kuat tarik dan atau lentur
- d. Daya tahan lelah (*fatigue*)
- e. Susut
- f. Tahan terhadap aus

Penambahan serat pada akhir pengadukan spesi menghasilkan adukan beton dengan penyebaran serat yang merata berorientasi random, asal kadar serat tidak melebihi kadar maksimumnya. Pada kadar yang terlalu tinggi akan menyebabkan penggumpalan/ pengelompokan pada serat-serat seperti bola-bola serat. Keadaan ini akan banyak mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan.

Penambahan serat dengan orientasi random akan meningkatkan kuat lentur beton *fiber* dibandingkan beton *non-fiber*. Sifat getas dari beton dapat diatasi oleh *fiber* sehingga beton *fiber* menjadi liat (Swamy dan Al-Noori, 1975). Selain itu *fiber* pada adukan menambah kekakuan dan mengurangi lendutan atau defleksi (Swamy dkk, 1979).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pencampuran serat dalam beton yaitu :

1. Tipe *fiber*
2. Rasio kelangsingan,  $l/d$  dari *fiber*
3. *Fiber volume fraction*,  $v_f$

Tipe *fiber* berbeda dari jenis bahan yang dipakai, juga bisa berbeda pada bentuknya. Serat atau fiber dari bahan yang sama, tetapi bentuknya berbeda mempunyai efek yang berlainan apabila dicampurkan pada beton. Ada berbagai macam bentuk *fiber* dan ukuran penampang *fiber*. Untuk penampang bujur sangkar, empat persegi panjang mempunyai panjang rata-rata dari 6-60 mm, lebar 0,5 x 0,5 mm sampai dengan 1 x 1 mm dan untuk penampang bulat mempunyai diameter ekuivalen dari 0,5 mm sampai dengan 1 mm. Rasio kelangsingan,  $l/d$  dari *fiber* adalah perbandingan antara panjang *fiber* dengan diameter *fiber*. Semakin kecil diameter semakin besar rasio kelangsingannya. Hal ini berarti serat-serat tersebut semakin halus. Rasio kelangsingan yang semakin besar (diameter tidak terlalu kecil) akan banyak mempengaruhi *workability* beton. *Workability* beton akan menurun dan kemungkinan beton akan keropos semakin besar. Namun bila *workability* bisa dipertahankan baik, semakin besar kehalusan serat, lebar retak dan jarak retak akan berkurang walau jumlah retak bertambah. Jumlah retak banyak dengan lebar retak yang kecil tidak membahayakan suatu struktur karena dengan lebar halus kedalaman retak sepanjang tinggi struktur akan berkurang.

Perbandingan antara  $l$  (panjang) dan  $d$  (lebar *fiber*) akan berpengaruh pada sistem pelaksanaannya. Untuk  $l/d < 45$ , pencampuran *fiber* ke dalam beton tidak memerlukan teknik tertentu. Apabila  $45 < l/d < 100$ , pencampuran memerlukan teknik tertentu agar dapat homogeny. Untuk  $l/d > 100$ , hampir tidak mungkin dilaksanakan agar homogen, jalan keluarnya dengan membuat kelompok. Nilai  $l/d$  di atas hanya untuk fiber dengan penampang bulat. Untuk penampang persegi atau  $\frac{1}{2}$  lonjong  $l/d < 45$  (pada umumnya) maka tidak memerlukan teknis pencampuran yang khusus agar homogen. *Fiber Volume Fraction*,  $v_f$  adalah prosentase/konsentrasi bagian serat dalam satuan volume beton (Persamaan 1).

$$V_f = \frac{\sum \Delta S_f}{A} \quad \text{dengan} \quad \sum \Delta S_f = \frac{A_f}{\cos \varphi} \quad (1)$$

Dengan :

$\sum \Delta S_f$  = Jumlah luasan serat

$A_f$  = Luas penampang serat

$\varphi$  = Sudut antara sumbu serat dengan garis sumbu spesimen

Makin besar *volume fraction* dari serat yang ditambahkan pada campuran beton, semakin meningkat kekuatan beton serat yang dihasilkan. Namun prosentase peningkatan mutu berkurang bila  $v_f$  melebihi  $v_f$  maksimum dari berat tersebut.

## 2.1 Kuat Lentur Beton

Pengukuran kekuatan tarik lentur adalah penting untuk memperkirakan elemen beton yang mengalami retak. Sangatlah sukar untuk menentukan kekuatan beton secara langsung dan oleh karena itu ditentukan dengan tes lentur. Tes ini digunakan pada balok beton.

Pada saat hancur *Modulus of Rupture* merupakan hal yang sangat penting dalam kekuatan tarik beton. ACI menspesifikasikan *Modulus Rupture* ( $f_r$ ) sebesar  $7,5 (f_c')^{0,5}$  untuk beton normal atau dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 2:

$$F_r = M/Z = M.c/I \quad (2)$$

Dengan :  $c$  = jarak serat yang ditinjau

$M$  = momen lentur yang bekerja pada suatu penampang

$I$  = momen inersia penampang

Pengetesan ini dilakukan dengan cara ASTM C 78, dengan benda uji berukuran 152 mm x 152 mm x 508 mm (6 in x 6 in x 20 in). Adapun cara pengisian beton terdiri dari dua lapisan, tiap lapis dirojok sebanyak 60 kali. Untuk beton yang kaku, pematatannya dengan cara digetar (menurut standar B 5 11881 part 4, dimensi benda uji 150 mm x 150 mm x 750 mm). Kuat tarik beton teoritis dihitung dengan rumus Persamaan 3:

$$R = \frac{P.L}{b.d^2} \quad (3)$$

Dengan :  $R$  = *modulus rupture* ( $f_r$ )

$P$  = beban maksimum total

$L$  = panjang bentang

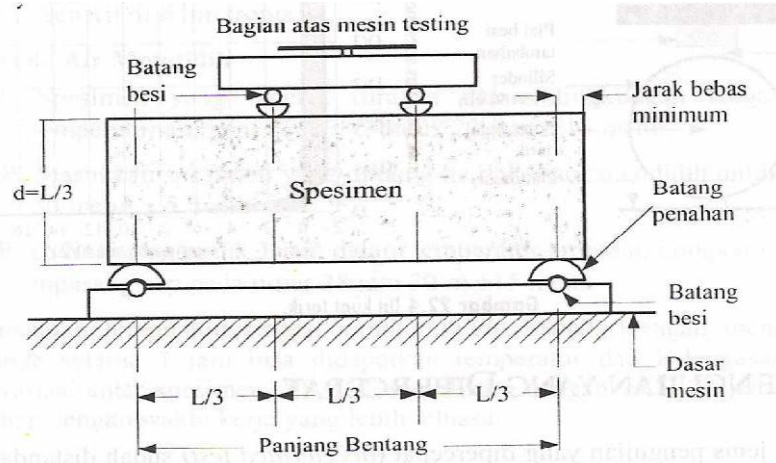
$B$  = lebar benda uji

$D$  = tinggi balok

Persamaan 3 digunakan bila balok rusak diantara dua beban, misalnya di tengah-tengah bentang. Bila balok rusak diluar kedua pembebanan tersebut, maka dipergunakan rumus Persamaan 4:

$$R = 3 \frac{P.a}{b.d^2} \quad (4)$$

Dengan :  $a$  = jarak rata-rata antara titik yang rusak dengan tumpuan yang terdekat



Gambar 1. *Setting Up* Uji Kuat Lentur Dengan Pembebanan Sepertiga Bentang

## 2.2 Fibre Orientation (Arah Serat)

Arah serat merupakan efek yang besar pada perilaku kekuatan beton serat. Banyak studi eksperimental dalam beton serat menyatakan kekuatan beton serat dipengaruhi oleh tipe serat, aspek rasio serat dan banyaknya serat dalam campuran beton. Akan tetapi secara umum dapat diterima bahwa arah serat merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam mempengaruhi kekuatan beton serat (Brite-Euram Project No. P-89-3275).

Didalam beton serat, *fibre orientation* ( arah serat) dipergunakan sebagai salah satu pengontrol peningkatan kuat tarik beton yang menggunakan serat baja. Untuk itu perlu dianalisa arah serat yang terdistribusi pada penampang tarik. Apabila arah serat menunjukkan semakin mendatar ( $\eta_\varphi = 0$ ), maka kuat tarik semakin meningkat atau sebaliknya apabila arah serat semakin tegak/vertikal ( $\eta_\varphi = 1$ ), maka serat baja berarti tidak bekerja.

Sebagai data evaluasi, koefisien arah serat ( $\eta_\varphi$ ) dapat dihitung dari masing-masing penampang beton. Menurut Romualdi, rata-rata jumlah serat ( $M$ ) pada penampang beton dapat diperkirakan sebagai berikut (Persamaan 5):

$$M = \frac{v_f \cdot A_p \cdot \eta_\varphi}{25 \cdot \pi \cdot d_f} \quad (5)$$

Dengan :

$v_f$  = banyaknya serat dalam % volume

$A_p$  = luas penampang beton ( $\text{cm}^2$ )

$d_f$  = diameter serat

$\eta_\varphi$  = rata-rata arah serat yang dapat dihitung dengan Persamaan 6:

$$\eta_\varphi = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M \cos\varphi_i \quad (6)$$

Dengan :

$\varphi = 0$  untuk arah serat horizontal maka  $0 \leq \eta_\varphi \leq 1$

Arah serat ( $\eta_\varphi$ ) dapat juga dihitung dengan menggunakan metode eksperimental yaitu Persamaan 7:

$$\eta_{\varphi} = \frac{M \cdot 25 \cdot \pi \cdot d_f^2}{v_f \cdot A_p} = \frac{M \cdot 25 \cdot \pi \cdot d_f^2}{v_f \cdot A_p} \left(\frac{4}{4}\right) = \frac{100 \cdot M \cdot A_f}{v_f \cdot A_p} \quad (7)$$

Dengan :

$v_f$  = banyaknya serat dalam % volume

$A_p$  = luas penampang beton (  $\text{cm}^2$  )

$d_f$  = diameter serat

$A_f$  = luas *fiber*/serat (  $\text{cm}^2$  )

$M$  = jumlah serat

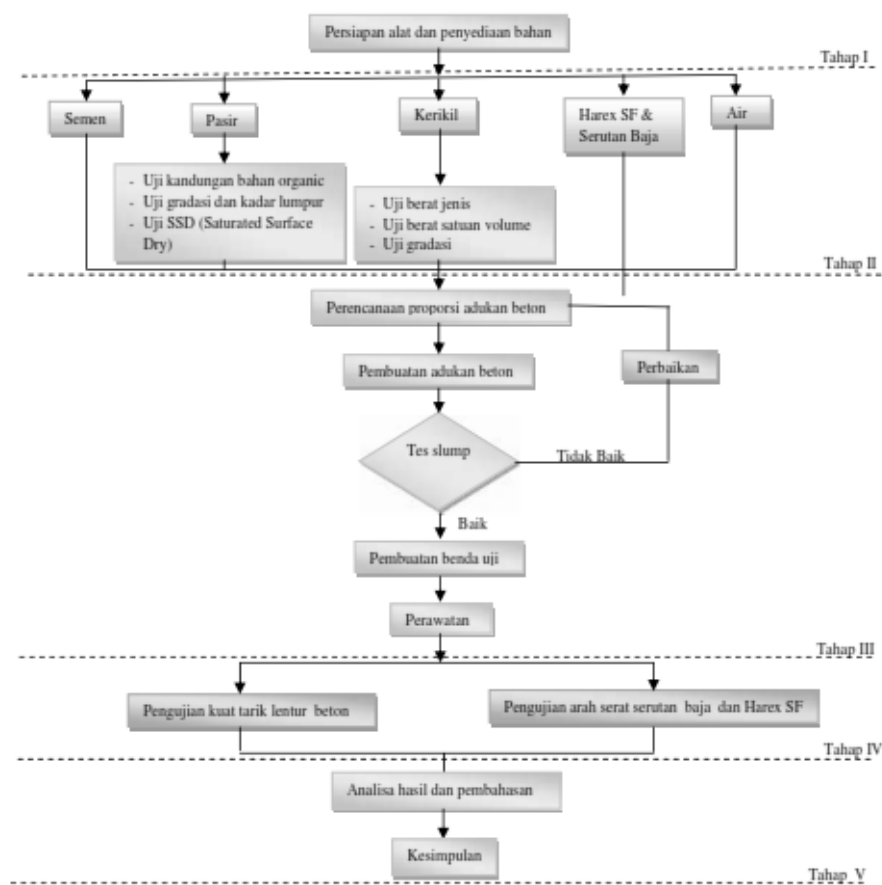
$\eta_{\varphi} = 0$ , untuk *fiber* arah horisontal

$\eta_{\varphi} = 1$ , untuk *fiber* arah vertikal/parallel

Serat yang dipakai dalam penelitian ini adalah Harex SF yang merupakan produk impor dan serat dari limbah serutan baja laboratorium Teknologi Mekanik STTNAS Yogyakarta.

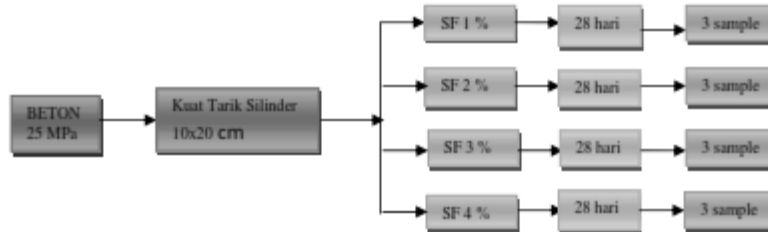
### 3. Metode Penelitian

Metodologi penelitian adalah cara-cara penelitian suatu masalah, dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban yang rasional. Dalam penelitian ini dipakai metode eksperimental dengan tahapan-tahapan seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.

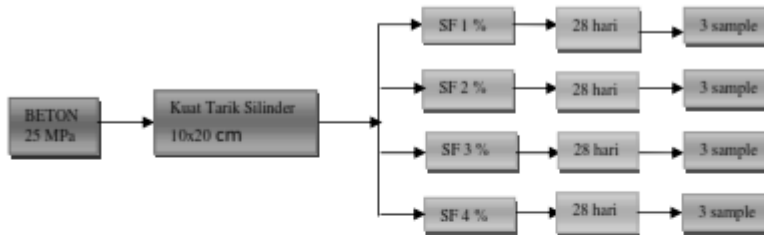


Gambar 2. Bagan Penelitian

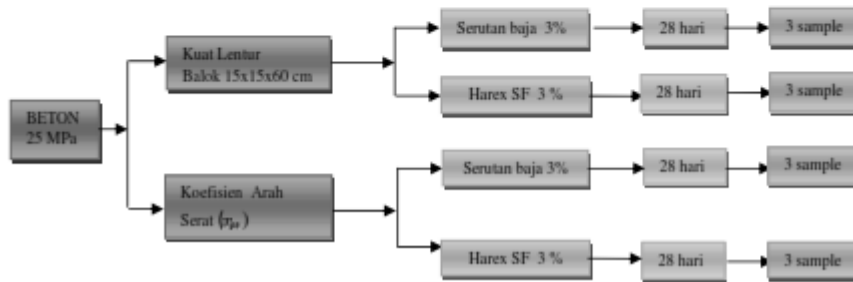
**Tahap IV ( Uji Kadar Optimum Pemakaian Harex SF di Tinjau dari Workability ) :**



**Tahap IV ( Uji Kadar Optimum Pemakaian Serutan Baja di Tinjau dari Workability ) :**



**Tahap IV (Berdasarkan Hasil Pemakaian Optimum Harex SF maupun Serutan Baja) :**



Gambar 3. Bagan Penelitian Hasil Pemakaian Optimum Harex SF maupun Serutan Baja

**4. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton Serutan Baja Umur 28 Hari

Serutan Baja (%)	Tanda/Kode Benda Uji	Pembebanan (N)	Kuat Tarik (MPa) $\sigma_{sp} = \left[ \frac{2P}{\pi LD} = 0,637 \frac{P}{LD} \right]$	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)
1 %	BS1a	210000	3.18	3.30
	BS1b	250000	3.54	
	BS1c	225000	3.18	
2 %	BS2a	220000	3.11	3.00
	BS2b	240000	3.40	
	BS2c	175000	2.48	

Tabel 1 (lanjutan). Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton Serutan Baja Umur 28 Hari

Serutan Baja (%)	Tanda/Kode Benda Uji	Pembebanan (N)	Kuat Tarik (MPa) $\sigma_{sp} = \left[ \frac{2P}{\pi LD} = 0,637 \frac{P}{LD} \right]$	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)
3 %	BS3a	250000	3.54	3.35
	BS3b	220000	3.11	
	BS3c	240000	3.40	
4 %	BS4a	240000	3.40	3.61
	BS4b	320000	4.53	
	BS4c	205000	2.90	

Tabel 2. Pengujian Kuat Tarik Beton Dengan Serat Harex SF Umur 28 Hari

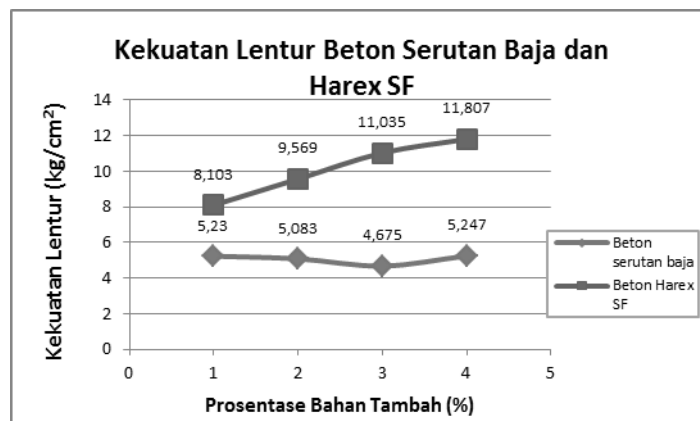
Serat Harex SF (%)	Tanda/Kode Benda Uji	Pembebanan (N)	Kuat tarik $\sigma_{sp} = \left[ \frac{2P}{\pi LD} = 0,637 \frac{P}{LD} \right]$	Kuat Tarik Rata-rata
1 %	BH1a	142000	4,523	4,300
	BH1b	132000	4,204	
	BH1c	131000	4,172	
2 %	BH2a	142000	4,523	4,480
	BH2b	135000	4,300	
	BH2c	145000	4,618	
3 %	BH3a	142500	4,539	4,778
	BH3b	159500	5,080	
	BH3c	148000	4,714	
4 %	BH4a	158000	5,032	4,958
	BH4b	149500	4,762	
	BH4c	159500	5,080	

Dari hasil Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa pemakaian serat 4 % memberikan nilai kuat tarik yang tertinggi baik pada beton serutan baja maupun beton serat Harex SF. Akan tetapi dari segi kemudahan pengerjaan (*workability*) diperoleh pada pemakaian serat 3% sehingga untuk pengujian kekuatan lentur memakai serutan baja maupun serat Harex SF 3%.



Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Bahan Tambah 3%

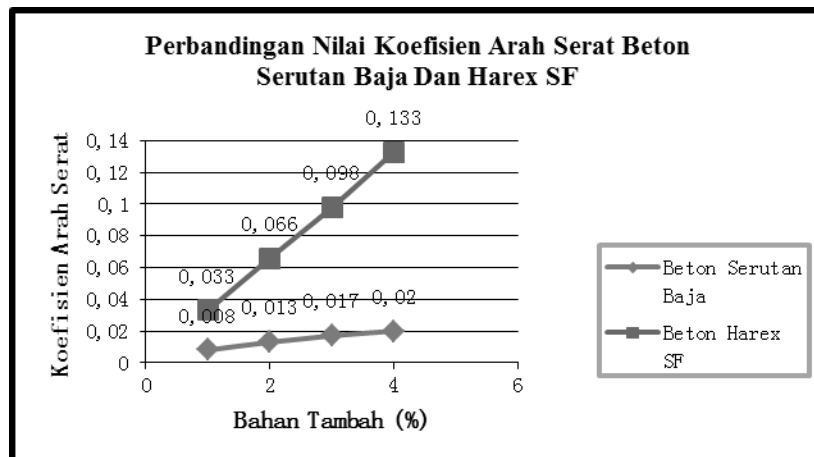
Jenis Serat	(%)	Kode Balok	P Maks (kN)	P Maks Rata-Rata (kN)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
Serutan Baja	3.00	BS3a	11.425	10.493	5.565	5.037
		BS3b	11.229		5.356	
		BS3c	8.826		4.191	
Harex SF	3.00	BH3a	61.19	62.073	10.878	11.035
		BH3b	66.19		11.7	
		BH3c	58.84		10.460	



Gambar 4. Grafik kekuatan lentur beton serutan Baja dan Harex SF

Tabel 4. Hasil pengujian koefisien arah serat ( $\eta_\phi$ ) dengan Bahan Tambah 3%

Jenis Serat	(%)	Benda Uji	M	$A_f$	$v_f$	$A_p$	$\eta_\phi$
Serutan Baja	3.00	1	4	0.004	1	100	0.016
		2	4	0.004	1	100	0.016
		3	5	0.004	1	100	0.02
	rata-rata	4.333		0.004	1	100	0.017
Harex SF	3.00	1	59	0,00381	1,012	225	0,099
		2	68	0,00381	1,008	225	0,114
		3	49	0,00381	1,01	225	0,082
	rata-rata	59		0,00381	1,01	225	0,098



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai Koefisien Arah Serat Beton Serutan Baja dan Harex SF

Dari hasil penelitian di atas maka dapat dicari hubungan antara kekuatan tarik lentur dengan koefisien arah serat beton seperti pada Tabel .5

Tabel 5. Hubungan Kekuatan Tarik Lentur dengan Koefisien Arah Serat Beton

Jenis Serat	Tegangan Tarik lentur (MPa)	Koefisien Arah Serat ( $\eta_\phi$ )
Serutan Baja	5,565	0,016
	5,356	0,016
	4,191	0,024
Serat Harex SF	10.878	0,099
	11.767	0,114
	10.460	0,082

Dari hasil Tabel 5 diatas menunjukkan bahwa beton yang menggunakan serutan baja menghasilkan kekuatan tarik lentur rata-rata sebesar 5,037 MPa dengan nilai koefisien arah serat beton ( $\eta_\phi$ ) sebesar 0,017, sedang pada beton menggunakan serat Harex SF menghasilkan kekuatan tarik lentur rata-rata sebesar 11,035 MPa dan nilai koefisien arah serat beton ( $\eta_\phi$ ) sebesar 0,098. Nilai koefisien arah serat ( $\eta_\phi$ ) baik untuk beton dengan serutan baja maupun beton dengan serat Harex SF keduanya berada diantara nilai nol dan 1 ( $0 \leq \eta_\phi \leq 1$ ). Nilai tersebut rata-rata mendekati 0 (nol) dan ini sesuai dengan kenyataan dalam penelitian yang menunjukkan bahwa arah serutan baja maupun serat HAREX SF ini tegak lurus penampang beton atau dalam posisi datar pada saat pembuatan benda uji.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan serat HAREX SF yang ditinjau dari workabilitas menunjukkan bahwa pada pemakaian serat 3% memberikan hasil yang optimum.
2. Kekuatan tarik lentur beton serat Harex SF 3% sebesar 5,037 MPa dan kekuatan tarik lentur beton dengan serutan baja sebesar 11,035 MPa.
3. Nilai koefisien arah serat beton serutan baja yang dihasilkan ( $\eta_\phi$ ) sebesar 0,017 dan beton serat Harex SF 3% ( $\eta_\phi$ ) sebesar 0,098. Baik beton dengan serat Harex SF maupun dengan serutan baja berada diantara 0 (nol) dan 1 ( $0 \leq \eta_\phi \leq 1$ ) dengan nilai rata-rata yang mendekati 0 (nol). Hal ini menunjukkan bahwa serat tersebut bekerja dengan baik sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik lentur beton.

## Daftar Pustaka

- ACI Committee 544, 1982, *State of The Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI 544 1 R-82, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- ASTM 78-94, Standard Test Method for Flexural (Strength of Concrete Using Beam with Third-Point Loading)
- ASTM 1116-91, Standart Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete.
- ASTM C 496-71 RA 79, Standard Method of Test for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Philadelphia.
- Bayasi,Z, 1989, Mechanical Properties and Structural Application of Steel Fiber Reinforced Concrete, Ph.D Dissertation, Departemndnt of Civil Engineering, Michigan State University, Michigan, USA.
- Krenchel,H, Fibre Spacing and Specific Fibre Surface, Structural Research laboratory, Technical University of Denmark.
- Naaman, A.E and Reinhardt, H.W, 1995,*High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 2 (HPFRCC 2)*, Procceding of The Second International RILEM Workshop, Ann Arbor,USA.
- Soroushian,P, Bayasi,Z, 1987, *Mechanical properties of Fiber Reinforced Concrete*, Procceding of the International Seminar on Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, Michigan, USA.

