

# INDEKS TAHANAN LENTUR BETON-SERAT

Sudarmoko

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Yogyakarta

## INTISARI

Beton merupakan bahan konstruksi yang paling sering dipakai, karena mempunyai banyak keuntungan, baik dari segi struktur, ekonomi, pelaksanaan maupun perawatan. Salah satu kelemahan yang cukup menonjol, yaitu sifatnya yang getas dan tidak mampu menahan lenturan yang terlalu besar. Penambahan serat-serat pada adukan beton akan memperbesar kemampuannya menyerap energi lenturan yang mungkin terjadi, yang dinyatakan dengan Indeks Tahanan Lentur.

Pengujian Indeks Keliatan (Indeks Tahanan Lentur) dilakukan dengan membuat benda-benda uji beton balok  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ . Indeks Tahanan Lentur dinyatakan dengan luasan di bawah diagram hubungan lendutan-beban dengan lendutan  $0,075''$  dibagi dengan luasan di bawah diagram lendutan-beban pada saat terjadi retak pertama pada uji lentur dua titik pembebanan.

Penelitian dengan menggunakan Plain Steel Fibres dan Duoform Steel Fibres memberikan hasil bahwa pada umur 28 hari, Indeks Tahanan Lentur akan meningkat sebesar 19 dan 12 kali Indeks Tahanan Lentur beton tanpa serat, yaitu dengan memakai konsentrasi serat yang optimal ialah 1,0 %. Nilai Indeks Tahanan Lentur juga dipengaruhi oleh kemasakan beton dan nilai ini akan konstan jika beton sudah berumur minimal 28 hari. Pada pengujian dengan umur di bawah 28 hari dijumpai Indeks Tahanan Lentur yang lebih tinggi, sehingga pemakaian Indeks Tahanan Lentur pada umur beton yang kurang dari 28 hari untuk perancangan struktur akan memperkecil angka keamanan.

## PENGANTAR

Beton mempunyai kuat tekan cukup tinggi, tetapi kuat tarik dan kuat lenturnya sangat rendah, sehingga dalam pe-

rancangan struktur bagian beton tarik tidak boleh diperhitungkan.

Penambahan serat pada adukan beton, mortar maupun pasta semen dapat menaikkan kuat lentur. Derajat peningkatan sifat-sifat ini akan dipengaruhi oleh jenis, ukuran, bentuk, konsentrasi, dan aspek ratio serat. Jenis serat yang dapat dipakai sangat banyak, mulai dari serat karbon yang sangat mahal sampai ke serat alam yang sangat murah. Setiap jenis serat akan mempunyai keuntungan dan kerugiannya sendiri-sendiri.

Pengaruh penambahan serat ke dalam adukan beton tergantung pada jenis, ukuran, bentuk, konsentrasi, dan rasio serat. Aspek rasio serat yang tinggi akan menyebabkan serat cenderung untuk menggumpal menjadi suatu bola (balling effects) yang sangat sulit disebar secara merata sebelum dan sesudah proses pengadukan. Briggs dan kawan-kawannya (1974) menemukan bahwa batas maksimal aspek rasio serat yang masih memungkinkan pengadukan dilakukan dengan mudah adalah  $1/d < 100$ . Nilai  $1/d$  yang melampaui batas di atas akan menyebabkan kesulitan dalam pengadukan.

Indeks Tahanan Lentur beton-serat dipengaruhi oleh kuat lekat antara bahan komposit dan secara tidak langsung adalah aspek rasio serat. Kuat lekat beton-serat berkait, 40 % lebih besar dari kuat lekat beton-serat polos. Johnston (1980) menunjukkan bahwa nilai Indeks Tahanan Lentur umumnya lebih tinggi pada mortar dibandingkan dengan pada beton. Untuk beton dengan konsentrasi serat 1,0 %, nilai Indeks Tahanan Lentur akan berkisar pada nilai 2 - 3,5, dengan kriteria tegangan maksimal, dan 10 - 15 dengan kriteria lenturan 1,9 mm, dan tergantung pada jenis dan aspek rasio serat.

Ramakrishnan (1988) mendapatkan hasil bahwa Indeks Tahanan Lentur akan meningkat sesuai dengan konsentrasi serat. Secara umum Indeks Tahanan Lentur bervariasi sekali tergantung pada posisi retak, konsentrasi, aspek rasio, distribusi, dan jenis serat.

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat terhadap sifat-sifat struktural, khususnya keliatan beton adukan yang dinyatakan dengan Indeks Tahanan Lentur.

#### CARA PENELITIAN

Bahan serat yang dipakai adalah Plain Steel Fibres (PSF) dengan aspek rasio 73,25 dan Duoform Steel Fibres

(DSF) dengan aspek rasio 113,24, sedangkan bahan adukan menggunakan semen portland, pasir, dan kerikil dengan diameter maksimal 10 mm.

Pasir dianalisis dengan menggunakan analisis saringan untuk menentukan zone pasir, kerikil disaring untuk memisahkan diameter-diameter yang tidak memenuhi persyaratan, dan kemudian dibasahi dengan air dan diangin-anginkan untuk mencapai kondisi Saturated Surface Dry.

Bahan susun adukan beton dihitung berdasarkan pada pedoman yang tercantum dalam "Design of Normal Concrete Mixes" (Teychenne, 1975). Faktor air semen dan faktor agregat semen dibuat sama untuk seluruh benda uji, yaitu berturut-turut 0,60 dan 5,24. Konsentrasi serat dibikin 0,50 %, 1,00 %, dan 1,50 % dari volum adukan. Hasil perancangan adukan dapat dilihat pada daftar I.

Alat yang digunakan untuk penelitian adalah mesin aduk beton, timbangan, alat pembebanan, dan ekstensometer.

Bahan agregat dan semen, sesuai dengan berat yang telah ditentukan, dicampur dengan mesin aduk dalam keadaan kering selama 3 menit, yang dilanjutkan dengan penambahan serat sedikit demi sedikit sampai sesuai dengan konsentrasi yang telah ditetapkan. Setelah serat tersebar rata pada adukan, air dicampurkan ke dalam adukan dan diaduk untuk jangka waktu 4 menit.

Daftar I. Berat bahan susun adukan

No.	% serat	Semen, kg	Air, kg	Kerikil, kg	Pasir, kg	Serat, kg
1	0,00	17,00	10,25	44,50	44,50	0,00
2	0,5 % PSF	15,30	9,22	40,50	40,50	0,73
3	1,0 % PSF	15,30	9,22	40,50	40,50	1,462
4	1,5 % PSF	15,30	9,22	40,50	40,50	2,20
5	0,5 % DSF	15,30	9,22	40,50	40,50	0,74
6	1,0 % DSF	15,30	9,22	40,50	40,50	1,48
7	1,5 % DSF	15,30	9,22	40,50	40,50	2,22

Pengujian indeks keliatan (Indeks Tahanan Lentur) dilakukan dengan membuat benda-benda uji beton balok 100 mm x 100 mm x 500 mm. Setelah satu hari dicetak, cetakan dibuka dan benda uji dimasukkan ke dalam bak air sampai tanggal pengujian yang telah ditetapkan, yaitu pada saat beton berumur 3, 7, dan 28 hari. Pada hari pengujian, benda uji yang

akan diuji dikeluarkan dari air serta diangin-anginkan agar didapat permukaan yang kering.

Balok ditimbang dan diukur dimensinya untuk menentukan berat jenisnya, kemudian diletakkan pada dua tumpuan dan diberi beban pada dua titik pembebanan. Besar beban berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami patah. Hubungan antara besar beban dan besarnya lenturan yang terjadi dicatat. Sebagai pencatat lenturan digunakan dua buah ekstensometer yang dipasang pada tengah bentang di kanan dan kiri benda uji untuk mendapatkan nilai rata-rata yang terjadi pada pusat benda uji. Hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi digambarkan pada Diagram Beban Lendutan untuk mencari nilai Indeks Tahanan Lenturnya.

Keliatan beton dinyatakan dalam kemampuan menyerap energi lentur yang terjadi yang dinyatakan dengan Indeks Tahanan Lentur, dengan luasan di bawah diagram hubungan lendutan-beban dengan lendutan 0,075" dibagi dengan luasan di bawah diagram lendutan-beban pada saat terjadi retak pertama.

### HASIL DAN PEMBAHSAN

Dari hasil penelitian pasir dengan menggunakan analisis saringan, didapatkan pasir yang masuk dalam Zone 2, yang kemudian digunakan dalam perancangan adukan.

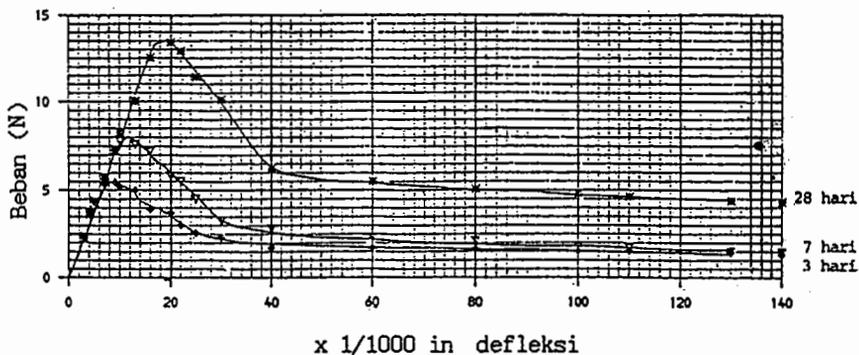
Dalam proses pengadukan, adanya serat-serat pada adukan akan mempersulit proses pencampuran. Hampir seluruh campuran beton-serat menunjukkan nilai slump sama dengan nol, sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan serat PSF dan DSF menurunkan kelecakan adukan sangat besar, yang akan mempersulit proses pengadukan dan pengangkutan dan penempatan beton. Kelecakan dapat ditingkatkan lagi dengan menambah air yang kemudian diikuti dengan penambahan semen yang proporsional dengan faktor air semen yang telah ditetapkan. Kenampakan lain yang teramati adalah bahwa pada saat proses pengadukan terjadi balling effect, yaitu serat-serat yang ditambahkan cenderung menggumpal menjadi bola-bola kecil.

Dengan melihat cara keruntuhan, lendutan yang terjadi pada benda uji beton tanpa serat tidak dapat diukur dengan ekstensometer, karena akan mengakibatkan patahnya jarum. Secara teoritis memang pada benda uji ini tidak akan terjadi lendutan sebelum benda uji mengalami keruntuhan, sehingga sesuai dengan definisi, nilai Indeks Tahanan Lentur pada beton tanpa serat akan sama dengan 1,00.

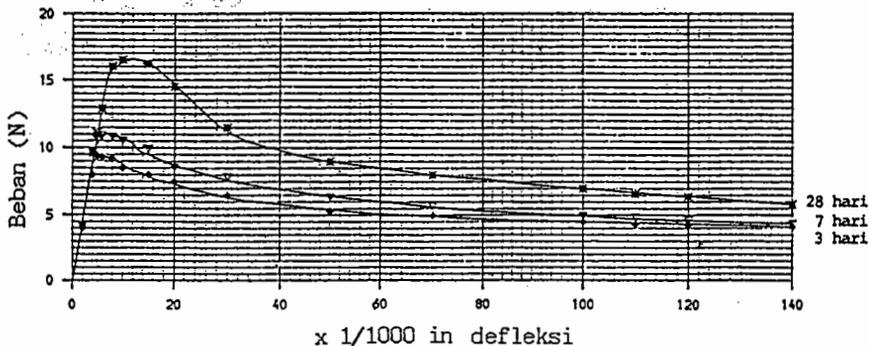
Pada pengujian balok beton tanpa serat, begitu terjadi

retak pertama segera akan diikuti dengan keruntuhan total benda uji, sedangkan pada pengujian balok beton-serat, keruntuhan akan terjadi secara perlahan-lahan dengan diawali oleh suatu retak kecil yang makin lama makin bertambah besar. Pada pemeriksaan tampang pecah, terlihat bahwa ada beberapa batuan yang pecah, tetapi sebagian besar bahan agregat tetap utuh. Hal ini menunjukkan bahwa bahan agregat mempunyai kekerasan yang tinggi dan retakan terjadi melalui pasta semen. Keruntuhan tidak dapat terjadi secara total, karena retak-retak akan tertahan oleh serat-serat yang ada.

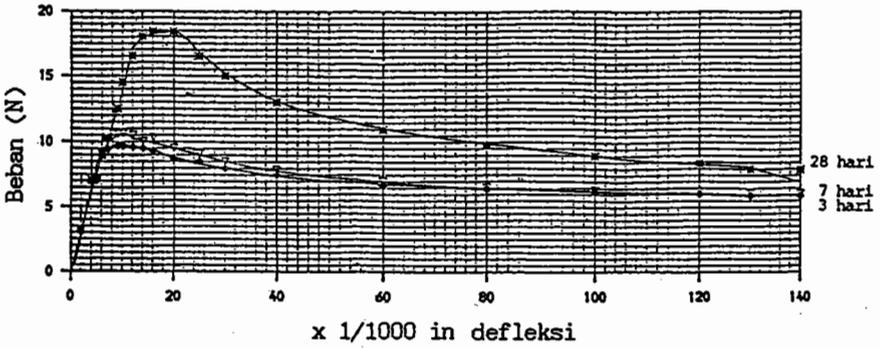
Diagram beban-lendutan pengujian balok beton-serat PSF dicantumkan dalam gambar 1 sampai ke gambar 3, dan diagram beban-lendutan beton-serat DSF pada gambar 4 sampai ke 6, sedangkan hasil perhitungan Indeks Tahanan Lentur dicantumkan dalam daftar II.



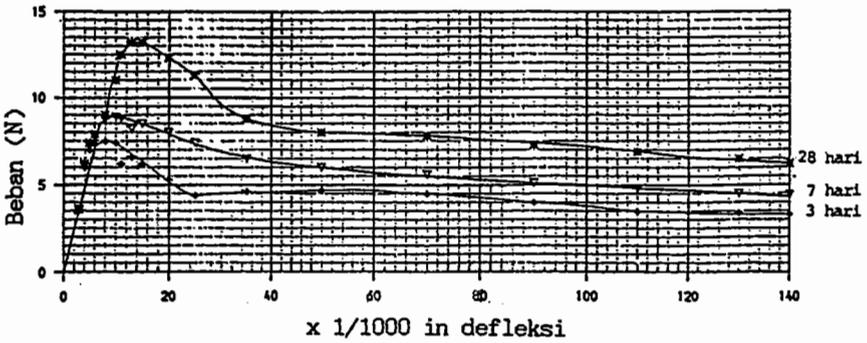
Gambar 1. Diagram beban-lendutan beton-serat PSF 0,5 %



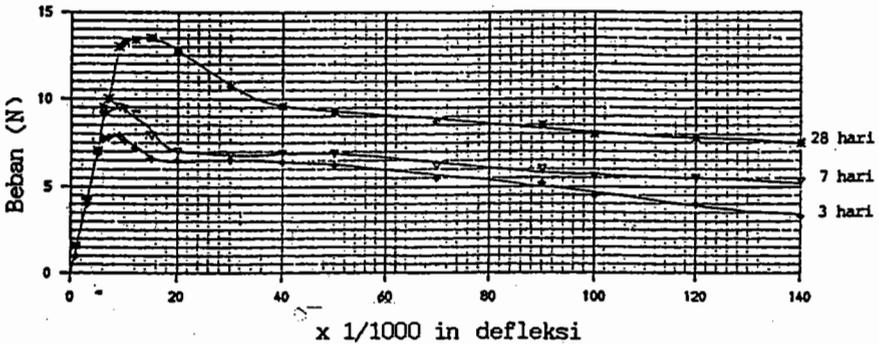
Gambar 2. Diagram beban-lendutan beton-serat PSF 1,0 %



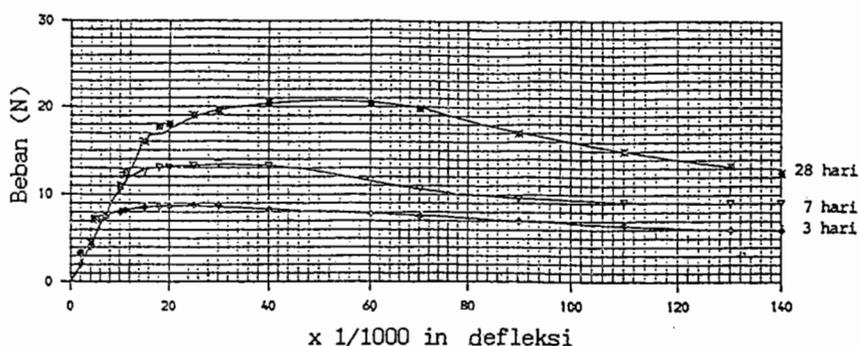
Gambar 3. Diagram beban-lendutan beton-serat PSF 1,5 %



Gambar 4. Diagram beban-lendutan beton-serat DSF 0,5 %



Gambar 5. Diagram beban-lendutan beton-serat DSF 1,0 %



Gambar 6. Diagram beban-lendutan beton-serat DSF 1,5 %

#### Daftar II. Hasil pengujian

No.	% serat	Indeks Tahanan Lentur		
		3 hari	7 hari	28 hari
1	0,00 %	1,000	1,000	1,000
2	0,5 % PSF	9,799	8,559	6,016
3	1,0 % PSF	25,530	20,792	19,397
4	1,5 % PSF	20,802	16,771	9,637
5	0,5 % DSF	24,616	15,521	9,750
6	1,0 % DSF	26,293	19,156	12,728
7	1,5 % DSF	22,272	13,230	7,919

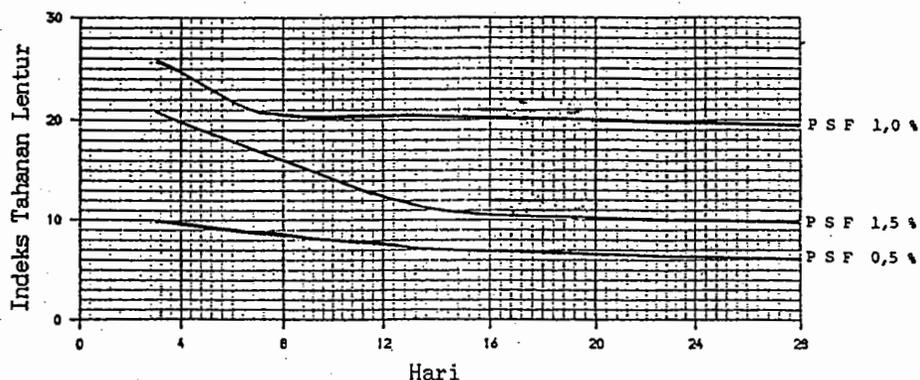
Dari daftar II terlihat bahwa besarnya peningkatan keliatan akan berbeda-beda untuk tiap konsentrasi serat. Kandungan serat 1,0 % menunjukkan nilai tertinggi untuk masing-masing jenis serat, berturut-turut 19,397 dan 12,728 untuk PSF dan DSF pada umur 28 hari, sehingga nilai 1,0 % merupakan nilai optimal. Hal ini sesuai dengan Briggs dan kawan - kawannya (1974) bahwa peningkatan keliatan beton-serat dipengaruhi oleh kandungan serat yang ada. Terlihat bahwa penambahan serat-serat PSF dan DSF dengan konsentrasi 1,0 % melipatgandakan nilai Indeks Tahanan Lentur sebesar 19 dan 12 kali dibandingkan dengan yang tanpa adanya penambahan serat. Hal ini menunjukkan bahwa beton-serat mempunyai kemampuan menyerap energi lendutan yang terjadi akibat adanya pembebanan.

Penambahan serat PSF dan DSF sebesar 0,5 %, jumlah se-

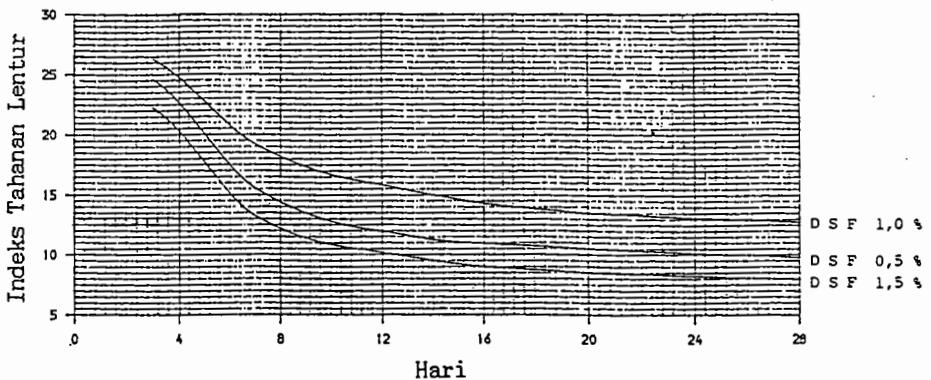
rat yang ada masih terlalu sedikit untuk menahan retak yang terjadi, sehingga hanya terjadi peningkatan Indeks Tahanan Lentur sebesar 6 kali. Tetapi, dengan penambahan serat sebesar 1,5 % volum adukan, ternyata justru memberi nilai Indeks Tahanan Lentur yang lebih kecil dibandingkan dengan Indeks Tahanan Lentur dengan penambahan 1,0 % serat, sebab sulit mendapat homogenitas sempurna pada konsentrasi serat yang tinggi.

Pengujian-pengujian pada umur 3 dan 7 hari pun menunjukkan hasil yang sama, yaitu konsentrasi serat 1,0 % merupakan nilai yang optimal.

Gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan bahwa pada umur 3 hari benda uji mempunyai nilai Indeks Tahanan Lentur yang terbesar dibandingkan dengan pada umur 7 dan 28 hari. Beton-PSF dengan konsentrasi serat 1,0 % pada umur 3 hari mempunyai Indeks Tahanan Lentur sebesar 25,53 yang kemudian turun secara tajam menjadi 20,792 pada umur 7 hari sesuai dengan tingkat kematangan beton dan akhirnya konstan pada nilai ini. Pada umur 28 hari, yaitu setelah proses hidrasi semen selesai, Indeks Tahanan Lentur 19,397. Dengan konsentrasi PSF 1,5 % pun terlihat kenampakan yang sama, yaitu pada umur 3 hari beton mempunyai Indeks Tahanan Lentur sebesar 20,802 yang turun menjadi 16,771 pada umur 7 hari dan akhirnya mencapai nilai konstan sebesar 9,637 pada umur 28 hari. Dengan konsentrasi 0,5 %, Indeks Tahanan Lentur mempunyai nilai sebesar 9,799 pada umur 3 hari yang kemudian turun menjadi 8,559 pada umur 7 hari dan akhirnya mencapai nilai 6,010 pada umur 28 hari.



Gambar 7. Hubungan antara Indeks Tahanan Lentur dan umur beton-serat PSF



Gambar 8. Hubungan antara Indeks Tahanan Lentur dan umur beton-serat DSF

Pemakaian DSF sebagai bahan serat juga memberikan kenampakan hasil yang sama, yaitu nilai Indeks Tahanan Lentur terbesar didapat pada pengujian umur 3 hari, yang kemudian pada pengujian umur 7 hari nilainya menurun, dan akhirnya mencapai nilai konstan pada umur 28 hari, yaitu setelah beton cukup matang dan proses hidrasi semen telah selesai.

Dengan konsentrasi DSF 0,5 %, pada umur 3 hari Indeks Tahanan Lentur mempunyai nilai sebesar 24,616 yang turun menjadi 15,521 pada umur 7 hari, dan akhirnya menghasilkan nilai 9,75 pada umur 28 hari. Dengan konsentrasi DSF 1,0 % pengujian pada umur 3, 7, dan 28 hari berturut-turut menghasilkan nilai Indeks Tahanan Lentur sebesar 26,293, 19,156, dan 12,728, sedangkan dengan konsentrasi DSF 1,5 % pada umur pengujian yang sama, berturut-turut nilai Indeks Tahanannya sebesar 22,272, 13,230, dan 7,919.

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Dari hasil-hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan serat Plain Steel Fibres dan Duoform Steel Fibres pada adukan beton memperbesar kemampuan beton menyerap energi lenturan, yang dinyatakan dengan nilai Indeks Tahanan Lentur yang makin meningkat.

2. Penambahan Plain Steel Fibres ke dalam adukan memberi hasil yang lebih bagus daripada Duoform Steel Fibres.
3. Konsentrasi serat yang optimal adalah 1,0 % volum adukan, baik untuk beton-PSF maupun beton-DSF.
4. Indeks Tahanan Lentur mencapai nilai yang konstan setelah beton berumur 28 hari, yaitu setelah proses hidrasi semen selesai.
5. Penambahan serat-serat PSF dan DSF akan menurunkan kelecakan adukan secara cepat.

### Saran

1. Penelitian tentang beton-serat dengan memakai jenis serat yang lain perlu dikembangkan lebih lanjut.
2. Sifat-sifat struktural beton yang lain, seperti kuat tekan dan tarik, modulus elastik dan modulus patah, perlu diteliti untuk mendapatkan perbandingan yang lengkap, dan nilai ekonomis beton-serat dan beton tanpa serat.
3. Sifat-sifat beton-serat yang lain, seperti creep, flamebility, keawetan, dan daya tembus air perlu diteliti lagi untuk kemungkinan pemakaian praktis.

### DAFTAR PUSTAKA

- Briggs,A., Bowen,D.H., and Kollek,J., 1974, "Mechanical Properties and Durability of Carbon Fibre Reinforced Cement Composites", Proc. of International Conference Carbon Fibres, The Plastic Institute, February, London.
- Johnston,C.D., 1980, "Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete", Proc. of the Symposium on Fibre Concrete, 16 April, pp. 57 - 65, London.
- Ramakrishnan,V., 1988, "Materials and Properties of Fibre Reinforced Concrete", Magazine of Civil Engineering, No.4/1988, pp. 23 - 36.
- Teychenne,D.C., 1975, "Design of Normal Concrete Mixes", HMSO Building Research Establishment, Transport and Road Research Laboratory, London.