

## **PENGARUH PENAMBAHAN SERAT NYLON TERHADAP KINERJA BETON**

Yohanes L.D. Adianto <sup>1</sup>  
Tri Basuki <sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

*Concrete is composite material composed by aggregate and covered by portland cement matrix filled the spaces among particles, which makes a solid material. One of the important properties of concrete is ductility. Low ductility of concrete is presented by stress-strain curve, which has fast decrease of compressive strength in post peak load area, so collapse happen in relatively immediate. Nylon fiber has lower modulus of elasticity than concrete. The using of fiber is expected able to produce concrete more ductile. The objective of this research is to explore the effect of one kind polymeric fiber, nylon, in normal concrete ( $f_c' = 30$  MPa). The result shows that there is no significance difference in compressive and flexural strength in concrete with varied nylon fiber content, but there is significance difference in compressive strength among varied age of concrete. There is significance difference in modulus of elasticity of concrete. The modulus of elasticity will increase in line with the decrease of nylon fiber content. This research show that higher fibre content added to the concrete, the concrete will show higher strength in cyclic loading.*

**Key words:** nylon, fibre, normal concrete, compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity.

### **PENDAHULUAN**

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari agregat dan terbungkus oleh matrik semen yang mengisi ruang di antara partikel-partikel sehingga membentuk satu kesatuan. Berdasarkan kekuatan tekannya beton dibagi menjadi tiga klasifikasi, yaitu (Malier, 1992):

1. Beton normal dengan kekuatan tekan kurang dari 50 MPa.
2. Beton kinerja tinggi dengan kekuatan tekan antara 50 hingga 90 MPa.
3. Beton kinerja sangat tinggi dengan kekuatan tekan lebih dari 90 MPa.

Klasifikasi tersebut didasarkan pada suatu pendekatan yang umum dipergunakan, yaitu berdasarkan karakteristik kuat tekan beton. Klasifikasi tersebut tidak dapat

menjelaskan sifat-sifat sebenarnya dari beton. Beton berkinerja tinggi (beton mutu tinggi) memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal.

Salah satu sifat penting dari beton adalah daktilitas. Daktilitas beton yang rendah dicerminkan oleh kurva tegangan-regangannya yang memiliki penurunan kekuatan tekan yang cepat pada daerah beban pasca puncak, sehingga menyebabkan secara relatif keruntuhan terjadi tiba-tiba. Penambahan serat yang mempunyai modulus elastisitas yang lebih rendah dari modulus elastisitas matrik beton diharapkan dapat membuat beton lebih daktil. Dengan sifat daktil tersebut, serat yang dicampurkan kedalam beton diharapkan dapat digunakan untuk memperbaiki karakteristik beton.

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Tetap Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

Penggunaan serat untuk memperkuat material yang getas telah dikenal lama. Serat-serat yang telah umum dipergunakan antara lain adalah terbuat dari baja, polymer, atau fiber glass. Serat mempunyai karakteristik modulus elastisitas yang lebih rendah daripada beton.

Salah satu jenis serat yang dapat dipakai adalah serat *polymeric*. Berdasarkan kepustakaan diketahui bahwa serat *polymeric* dapat memperbaiki kinerja beton. Pengertian beton serat adalah beton yang terbuat dari semen atau bahan pengikat hidrolis lainnya ditambah dengan agregat, air, serta suatu serat tertentu.

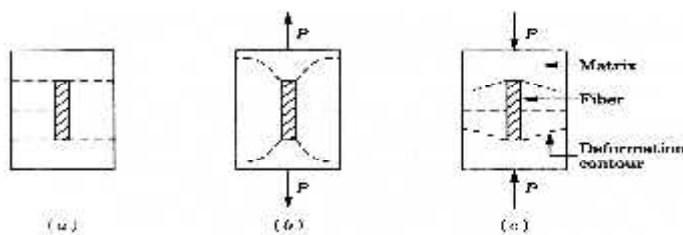
Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh serat *polymeric* terhadap kinerja beton. Serat *polymeric* yang akan dipergunakan dalam penelitian adalah serat nylon. Kinerja beton yang diamati adalah kekuatan tekan, kekuatan lentur, modulus elastisitas, ketahanan terhadap beban berulang dan perkembangan kekuatan tekan beton.

Penelitian yang dilakukan meliputi kegiatan penyiapan sampel beton berserat dengan berbagai kadar serat, pengujian kuat tekan, pengujian kuat lentur, pengukuran modulus elastisitas, dan pengujian beban berulang. Analisis kinerja beton akibat penambahan berbagai kadar serat nylon akan dilakukan dengan menggunakan analisis statistika.

## BETON SERAT

Beton serta dapat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari semen portland atau bahan pengikat hidrolis lainnya yang ditambah dengan agregat halus dan kasar, air, dan diperkuat dengan serat (Hannant, 1978). Interaksi antara serat dan matrik beton merupakan sifat dasar yang mempengaruhi kinerja dari material komposit beton serat. Pengetahuan tentang interaksi ini diperlukan untuk memperkirakan kontribusi serta dan meramalkan perilaku dari komposit.

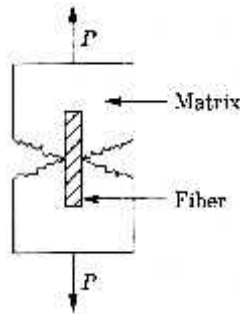
Interaksi antara serat dan matrik yang tak retak terjadi dalam hampir semua komposit selama tahap awal dari pembebanan. Pada umumnya matrik akan retak dalam masa pelayanan, walaupun retak terjadi dalam komposit. Bagian yang tidak terjadi retak dari strukturlah yang mempengaruhi sistem perilaku struktur. Sistem sederhana dari serat-matrik terdiri dari sebuah serat tunggal seperti nampak dalam Gambar 1. Dalam tahap tanpa pembebanan, tegangan dalam matrik dan serat diasumsikan nol. Ketika pembebanan diterima matrik, sebagian beban ditransfer sepanjang permukaan serat. Perbedaan kekakuan antara serat dan matrik menyebabkan tegangan geser terjadi sepanjang permukaan serat. Jika kekakuan serat lebih besar dari matrik, maka deformasi di sekeliling akan lebih kecil. Semakin kecil modulus kekakuan serat dibandingkan dengan dari kekakuan matrik, misalnya serat *polymeric* dan serat alam, maka deformasi di sekeliling serat akan lebih besar.



Gambar 1 Interaksi antara Serat dan Matrik yang Tidak Retak (Balaguru and Shah, 1992)

Jika komposit mengalami pembebanan tarik, maka pada tahap tertentu beton komposit akan mengalami retak seperti nampak pada Gambar 2. Jika matrik retak, maka serat yang menerima beban melewati retakan akan menyalurkan beban dari satu sisi matrik ke matrik yang lainnya. Dalam kenyataannya sejumlah serat akan

menjembatani retakan dan menyalurkan beban melewati retakan. Jika serat masih mampu menyalurkan beban yang ada melewati retakan, maka retakan yang lebih besar akan terbentuk sepanjang spesimen. Tahap pembebanan ini disebut tahap retak berganda (*multiple cracking stage*) yang terjadi dalam pembebanan masa pelayanan.



Gambar 2 Interaksi antara Serat dan Matrik yang Retak  
(Balaguru and Shah, 1992)

Perilaku yang terjadi pada retakan matrik disajikan pada Gambar 3. Perilaku retakan matrik dapat dibedakan menjadi perilaku berikut ini:

- a. Pada komposit dengan kadar serat yang rendah, maka komposit akan runtuh segera setelah terjadi retakan matrik.
- b. Pada komposit dengan kadar serat yang sedang, maka setelah terjadi retakan matrik, kapasitas komposit menerima pembebanan akan turun tetapi komposit masih dapat menahan beban selama masih di bawah beban puncak. Ketika matrik retak, beban ditransfer dari komposit ke serat sepanjang permukaan retakan. Saat deformasi yang terjadi akan meningkat, maka serat tertarik keluar dari matrik dan mengakibatkan kapasitas komposit menerima pembebanan yang makin lama semakin menurun. Tipe komposit ini tidak mengakibatkan peningkatan kekuatan tetapi menghasilkan perilaku yang daktail.

- c. Pada komposit dengan kadar serat yang tinggi, setelah terjadi retakan matrik, serat akan mulai menahan peningkatan pembebanan. Jika terdapat cukup serat sepanjang retakan, maka komposit dapat menerima penambahan beban yang lebih tinggi dari beban retak (*cracking load*).

### SERAT POLYMERIC

Serat untuk campuran beton dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu (Balaguru and Shah, 1992):

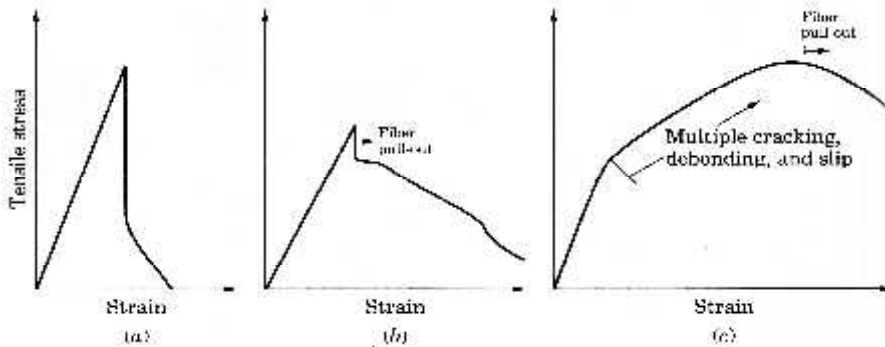
1. Serat metal, misalnya serat besi dan serat stainless steel.
2. Serat polymeric, misalnya serat polypropylene dan serat nylon.
3. Serat mineral, misalnya fiberglass.
4. Serat alam, misalnya serabut kelapa dan serabut nenas.

Serat polypropylene merupakan senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia  $C_3H_6$  yang berupa filamen tunggal ataupun jaringan

## Pengaruh Penambahan Serat Nylon Terhadap Kinerja Beton

serabut tipis yang berbentuk jala dengan ukuran panjang antara 6 mm sampai 50 mm dan memiliki diameter 90 mikron. Kadar serat polypropylene yang sering digunakan sebesar  $900 \text{ gr/m}^3$  beton. Pada penelitian ini

digunakan serat polypropylene dan serat nylon dengan merek dagang Fibermesh dan Nycon. Karakteristik umum dari serat polymeric yang dipakai dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3 Perilaku Kurva Tegangan Regangan Beton Serat (Balaguru and Shah, 1992)

Tabel 1 Karakteristik Serat Nylon (Stevens, 1995)

Karakteristik	Serat Nylon
Bentuk	serat tunggal
Diameter Serat	23 mikron
Panjang Serat	19 mm
Berat Jenis	1,16
Kekuatan Tarik	$9200 \text{ kg/cm}^2$
Modulus Elastisitas	$52000 \text{ kg/cm}^2$
Penyerapan Air	4 %
Titik Leleh	$224 \text{ }^\circ\text{C}$
Ketahanan Asam dan Garam	Baik
Ketahanan Alkali	Baik
Permukaan Beton	tidak berambut (polos)

Keuntungan penggunaan serat polymeric dalam campuran beton adalah sebagai berikut (Balaguru and Shah, 1992):

1. meningkatkan kekuatan beton (tekan, tarik, dan lentur), kedapatan beton, daya tahan terhadap beban kejut, daktilitas, kapasitas penyerapan energi, daya tahan beban berulang, dan daya tahan abrasi.
2. mengurangi retak-retak karena susut dan terjadinya korosi tulangan baja.
3. memungkinkan adanya kekuatan beton setelah terjadinya keretakan.

Adapun kekurangan dari serat jenis ini adalah:

1. mudah terbakar; kebakaran akan menyebabkan bertambahnya porositas pada beton sesuai dengan persentase volume dari serat yang ada pada beton.
2. lemah terhadap sinar matahari dan oksigen, sehingga untuk melindungi serat terhadap radiasi ultraviolet dan oksidasi, biasanya pabrik menambahkan bahan peningkat stabilisasi dan pigmen. Serat polypropylene mengalami proses pelapukan akibat radiasi ultraviolet dari sinar matahari dan oksidasi oleh oksigen dari udara.

**PENGUJIAN LABORATORIUM**

Perencanaan campuran beton ( $f_c' = 30$  MPa) dilakukan dengan mengikuti metode ACI (ACI Committee 211; ACI, 1994). Material penyusun beton normal adalah semen, pasir, agregat, dan air. Kadar serat yang dipergunakan adalah 600, 900, dan 1200 gram per meter kubik beton. Adapun tahapan pelaksanaan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian sifat material penyusun beton, meliputi penentuan berat isi agregat kasar, specific gravity agregat kasar dan halus, kadar air agregat kasar dan halus, analisis gradasi, dan analisis bahan organik agregat halus.
- b. Pengujian slump untuk mengetahui kekentalan adukan beton.
- c. Pembuatan benda uji

**Pengujian Kuat Tekan**

Pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dilakukan terhadap benda uji silinder berukuran diameter 13 cm dan tinggi 30 cm. Waktu pelaksanaan uji tekan disesuaikan dengan waktu pengecoran benda uji. Laju pembebanan adalah 1,43 hingga 3,47 kg/cm<sup>2</sup>/detik sesuai dengan ASTM-C39.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Pada pengujian ini selain besarnya beban juga dicatat besarnya deformasi yang terjadi.

**Pengujian Kuat Lentur**

Untuk pengujian kekuatan lentur digunakan benda uji berbentuk balok berukuran 15x15x60cm. Prosedur pengujian dengan kecepatan pembebanan 8,6 - 12,1 kg/cm<sup>2</sup> per menit dilaksanakan sesuai ASTM- C78-84.

Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur beton 28 hari. Pengujian dilakukan dengan membebani benda uji hingga runtuh.

**Pengujian Modulus Elastisitas dan Pembebanan Berulang**

Pengujian modulus elastisitas dilakukan menurut standar ASTM C 469-83. Pengujian ini untuk mencari *Chord modulus elastisity* (Young's) dari silinder beton.

Pada pengujian beban berulang, benda uji diberi beban berbentuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi 3 Hz,  $\sigma$  minimum sebesar 10%, dan  $\sigma$  maksimum sebesar 90% dari  $\sigma$  hancurnya. Hasil pengujian beban berulang ini kemudian dicatat jumlah siklus yang terjadi hingga benda uji hancur. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari.

**DATA DAN ANALISIS**

Setelah dilakukan pengujian di laboratorium, maka dapat disajikan hasil-hasil pengujian, yaitu pengujian kuat tekan, kuat lentur, modulus elastisitas, dan pembebanan berulang beton dengan penambahan serat nylon.

**Analisis Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari akibat penambahan serat nylon disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 4. Pada Gambar 4 nampak bahwa tidak terdapat pola yang seragam antar sampel.

Untuk menentukan apakah terdapat perbedaan nyata kuat tekan beton akibat variasi penambahan serat, maka dilakukan uji analisis varians satu arah (*One-way ANOVA*). Model linier yang digunakan adalah:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

- $Y_{ij}$  = nilai kuat tekan untuk benda uji ke-i dan kadar penambahan serat ke-j
- $\mu$  = pengaruh umum atau rata-rata seluruh eksperimen
- $\tau_j$  = pengaruh gradasi ke-j

Pengaruh Penambahan Serat Nylon Terhadap Kinerja Beton

$\epsilon_{ij}$  = kesalahan acak (random error)  
 $j = 1, 2, 3, 4$

Analisis tersebut memiliki hipotesis sebagai berikut:

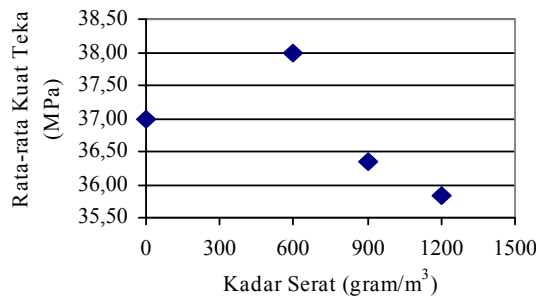
$H_0 : \tau_j = 0$ ..... (2)  
 $H_a : \text{bukan } H_0$

Jika hipotesis null tersebut benar, maka tidak terdapat pengaruh dari gradasi.

Analisis varian tersebut dilakukan dengan menggunakan tingkat keterandalan ( $\alpha$ ) = 0,05. Hasil analisis varians terhadap pengaruh penambahan serat nylon terhadap kuat tekan menghasilkan p-value 0,604. Jika digunakan nilai keterandalan sebesar 5%, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh penambahan serat yang signifikan terhadap kuat tekan beton.

Tabel 2 Kuat Tekan Beton umur 28 hari dengan Penambahan Serat Nylon

Kadar serat (gram/m <sup>3</sup> )	Kuat Tekan (MPa)			
	S-1	S-2	S-3	Rata-rata
0	37,00	35,00	39,00	37,00
600	38,50	38,50	37,00	38,00
900	34,00	36,00	39,00	36,33
1200	38,00	36,00	33,50	35,83



Gambar 4 Hubungan Penambahan Kadar Serat dengan Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan beton normal pada penelitian ini juga dilakukan pada berbagai umur beton, yaitu umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Nilai kuat tekan beton dengan penambahan serat nylon pada berbagai umur disajikan pada Tabel 5. Penyajian kuat tekan secara grafis untuk berbagai umur beton disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan hasil uji Anova dua arah seperti nampak pada Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa penambahan serat nylon dalam berbagai kadar tidak memberikan perbedaan yang signifikan pada kuat tekan beton. Hasil pengujian ini sejalan dengan hasil analisis seperti yang dilakukan pada uji

kuat tekan umur 28 hari. Namun, hasil uji menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kuat tekan yang signifikan pada berbagai umur pengujian.

**Analisis Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton**

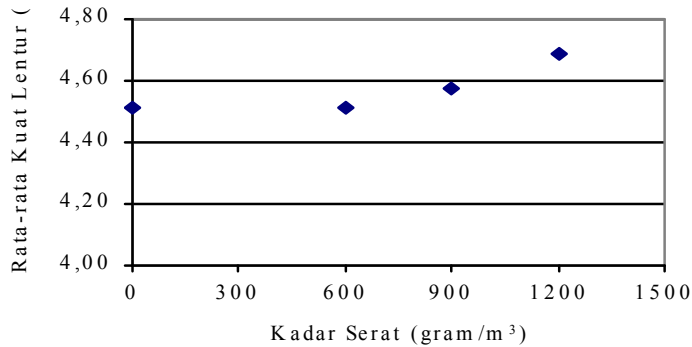
Penggunaan serat nylon juga dipelajari dengan melakukan pengujian kuat lentur beton. Jumlah serat nylon yang dipergunakan adalah 0, 600, 900, dan 1200 gram/mm<sup>3</sup>. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3 dan penyajian secara grafis disajikan pada Gambar 5.

Tabel 3 Hasil Uji Kuat Lentur Beton dengan Penambahan Serat Nylon

Kadar serat (gram/m <sup>3</sup> )	Kuat Lentur (MPa)			
	S-1	S-2	S-3	Rata-rata
0	4,67	4,53	4,33	4,51
600	4,60	4,60	4,33	4,51
900	4,60	4,53	4,60	4,58
1200	4,67	4,67	4,73	4,69

Untuk dapat menyimpulkan perbedaan kuat lentur beton akibat penambahan serat nylon, maka dilakukan analisis secara statistika. Pada Gambar 5 nampak bahwa nilai rata-rata kuat lentur antara benda uji dengan penambahan serat nylon tidak memiliki selisih yang besar, yaitu antara

4,51 hingga 4,69 MPa. Dengan menggunakan analisis varians pada tingkat keterandalan 0,05 dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan nyata antara kuat lentur benda uji dengan penambahan serat nylon.



Gambar 5 Hubungan Penambahan Serat Nylon terhadap Kuat Lentur Beton

**Analisis Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton**

Salah satu parameter penting dari beton semen portland adalah modulus elastisitas. Penelitian ini juga meneliti modulus elastisitas beton dengan penambahan serat

nylon, sehingga dapat diketahui secara lebih baik pengaruh penggunaan serat nylon terhadap karakteristik beton semen portland. Hasil pengujian modulus elastisitas disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Modulus Elastisitas Beton dengan Penambahan Serat Nylon

Kadar serat (gram/m <sup>3</sup> )	Modulus Elastisitas (MPa)			
	S-1	S-2	S-3	Rata-rata
0	19920	19140	21250	20103
600	18020	18340	18670	18343
900	12160	12130	11770	12020
1200	11240	11010	10700	10983

## Pengaruh Penambahan Serat Nylon Terhadap Kinerja Beton

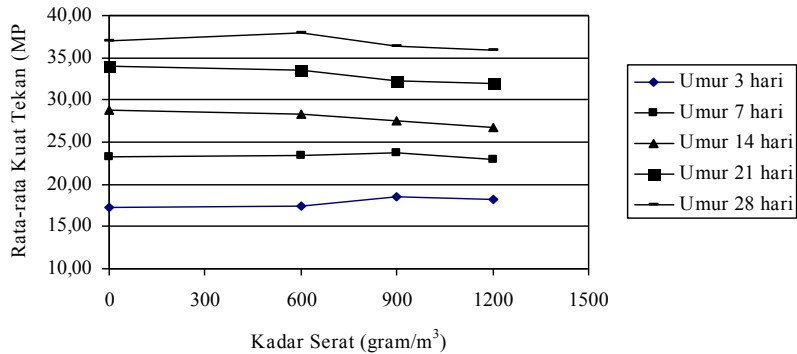
Penyajian nilai rata-rata modulus elastisitas secara grafis nampak pada Gambar 7. Pada Gambar 7 terlihat bahwa rentang nilai modulus elastisitas berada pada 20103 MPa untuk benda uji tanpa penambahan serat nylon hingga 10980 MPa untuk benda uji dengan 1200 gram/m<sup>3</sup> serat nylon.

Analisis varians dipergunakan untuk menunjukkan apakah terdapat perbedaan nyata akibat penambahan serat nylon pada modulus elastisitas beton. Analisis varians pada tingkat keterandalan dapat menunjukkan bahwa terdapat perbedaan besarnya modulus elastisitas secara nyata pada beton akibat penambahan serat nylon.

Tabel 5 Hasil Uji Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur dengan Penambahan Serat Nylon

<b>Kadar serat (gram/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Umur (hari)</b>	<b>sampel 1</b>	<b>sampel 2</b>	<b>sampel 3</b>	<b>Rata-rata</b>
0	3	16,50	18,10	17,30	17,30
	7	22,60	23,50	23,80	23,30
	14	27,90	28,20	30,30	28,80
	21	37,00	34,00	31,00	34,00
	28	37,00	35,00	39,00	37,00
600	3	16,00	18,50	17,60	17,37
	7	24,10	22,80	23,40	23,43
	14	26,00	30,30	28,70	28,33
	21	30,00	35,70	35,00	33,57
	28	38,50	38,50	37,00	38,00
900	3	19,00	18,20	18,30	18,50
	7	23,00	24,20	24,20	23,80
	14	27,00	27,00	28,60	27,53
	21	31,50	33,40	32,10	32,33
	28	34,00	36,00	39,00	36,33
1200	3	17,90	19,00	17,90	18,27
	7	23,40	22,90	22,40	22,90
	14	25,80	26,60	28,00	26,80
	21	31,70	31,70	32,30	31,90
	28	38,00	36,00	33,50	35,83

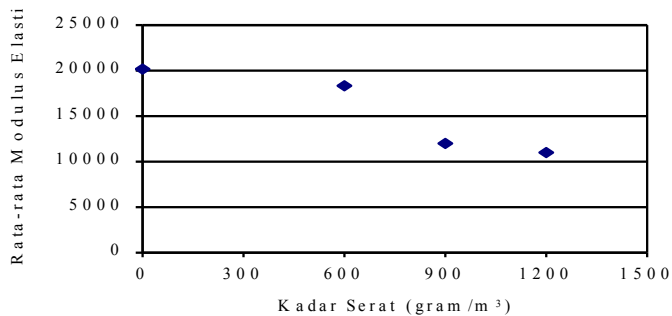




Gambar 6 Hubungan Penambahan Kadar Serat Nylon dengan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur Beton

Tabel 6 Two-way ANOVA untuk Kuat Tekan Beton

Source	DF	SS	MS	F	F <sub>crit</sub>
Kadar Serat	3	9.52	3.17	1.415	2,832
Umur	4	2711.23	677.81	302.59	2,602
Error	52	116.52	2.24		
Total	59	2837.28			



Gambar 7 Hubungan Penambahan Serat Nylon dengan Modulus Elastisitas Beton

Analisis selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan secara simultan (*simultaneous comparison*). Metode analisis yang dipergunakan adalah metode Newman Keuls seperti nampak pada Tabel 7. Tingkat keterandalan yang dipergunakan adalah 5%. Apabila hasil uji tersebut digambarkan seperti nampak dalam Tabel 8, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai rata-rata modulus elastisitas beton dengan

penambahan serat nylon dapat akan semakin besar bila serat nylon yang diberikan semakin kecil. Urutan penambahan kadar serat untuk modulus elastisitas yang semakin besar adalah 1200, 900, 600, dan 0 gram per meter kubik beton. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan serat nylon akan mengakibatkan modulus elastisitas beton semakin kecil.

Tabel 7 Hasil Uji Newman Keuls pada Modulus Elastisitas Beton akibat Penambahan Serat Nylon

Perbandingan	Selisih Rata-rata	LSR	Signifikansi
0 vs 1200	9120	1322,845	signifikan
0 vs 900	8083	1179,756	signifikan
0 vs 600	1760	951,9814	signifikan
600 vs 1200	7360	1179,756	signifikan
600 vs 900	6323	951,9814	signifikan
900 vs 1200	1037	951,9814	signifikan

Catatan: *LSR = least significant ranges*

Kadar	1200	900	600	0
Rata-rata	10983	12020	18343	20103

Tabel 8 Hasil Uji Perbandingan Simultan nilai Rata-rata Modulus Elastisitas

### Analisis Hasil Pengujian Pembebanan Berulang

Penelitian ini juga mempelajari pengaruh penggunaan serat terhadap karakteristik beton akibat pembebanan berulang. Hasil uji disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Penyajian Data Hasil Uji Pembebanan Berulang

Kadar serat (gram/m <sup>3</sup> )	Pembebanan Berulang (MPa)			
	S-1	S-2	S-3	Rata-rata
0	637	623	570	610
600	74642	75145	75813	75200
900	88117	88016	89912	88682
1200	119773	127165	124896	123945

Data hasil pengujian laboratorium tersebut selanjutnya dianalisis dengan menggunakan analisis varians. Hasil analisis varians pengaruh penambahan serat nylon terhadap karakteristik beton pada pembebanan berulang menghasilkan p-value sebesar  $7,1 \times 10^{-12}$ . Kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa terdapat perbedaan signifikan pada karakteristik beton akibat pembebanan berulang untuk berbagai kadar serat. Karena hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan, maka analisis

selanjutnya adalah melakukan uji perbandingan serentak.

Hasil uji perbandingan serentak dengan menggunakan metode Newman-Keuls disajikan pada Tabel 10. Pada Tabel 11 nampak bahwa terdapat perbedaan signifikan antar tiap kadar penambahan serat nylon. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai rata-rata akibat pembebanan berulang akan semakin tinggi seiring dengan semakin banyaknya penambahan kadar serat nylon.

Tabel 10 Hasil Uji Perbandingan Serentak dengan Metode Newman-Keuls

Perbandingan	Selisih Rata-rata	LSR	Signifikansi
1200 vs 0	123335	4504,925	signifikan
1200 vs 600	48745	4017,637	signifikan
1200 vs 900	35263	3241,955	signifikan
900 vs 0	88072	4017,637	signifikan
900 vs 600	13482	3241,955	signifikan
600 vs 0	74590	3241,955	signifikan

Kadar	0	600	900	1200
Rata-rata	610	75200	88682	123945

Tabel 11 Hasil Perbandingan dengan Metode Newman-Keuls untuk Nilai Pembebanan Berulang

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disampaikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serat nylon dalam berbagai kadar tidak memberikan perbedaan yang signifikan pada kuat tekan beton. Hasil pengujian ini sejalan dengan hasil analisis seperti yang dilakukan pada uji kuat tekan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Namun, hasil uji menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kuat tekan yang signifikan pada berbagai umur pengujian.
2. Nilai rata-rata kuat lentur antara benda uji dengan penambahan serat nylon berkisar antara 4,51 hingga 4,69 MPa. Dengan menggunakan analisis varians pada tingkat keterandalan 0,05 dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan nyata antara kuat lentur benda uji dengan penambahan serat nylon.
3. Rentang nilai modulus elastisitas berada pada 20103 MPa untuk benda uji tanpa penambahan serat nylon hingga 10980 Mpa untuk benda uji dengan 1200 gram/m<sup>3</sup> serat nylon. Nilai rata-rata

modulus elastisitas beton dengan penambahan serat nylon dapat akan semakin besar bila serat nylon yang diberikan semakin kecil. Urutan penambahan kadar serat untuk menghasilkan modulus elastisitas yang semakin besar adalah 1200, 900, 600, dan 0 gram per meter kubik beton. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan serat nylon akan mengakibatkan modulus elastisitas beton semakin kecil.

4. Hasil analisis varians pengaruh penambahan serat nylon terhadap karakteristik beton pada pembebanan berulang menghasilkan p-value sebesar  $7,1 \times 10^{-12}$ . Hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan signifikan pada karakteristik beton akibat pembebanan berulang untuk berbagai kadar serat. Hasil uji perbandingan serentak menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar penambahan serat nylon, maka semakin tinggi pula kekuatan akibat pembebanan berulang.

## DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 211, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* (ACI 211.1-91)

Adianto, Y.L.D., *Studi Penggunaan Serat Polypropylene dan Nylon untuk Memperbaiki Kinerja Beton Normal dan Beton Kinerja Tinggi*, Tesis Magister, Bidang Khusus Manajemen dan Rekayasa Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, 1997.

American Concrete Institute, *ACI - Manual of Concrete Practise Part 1, Material and General Properties of Concrete*, American Concrete Institute, Detroit - Michigan, 1994.

Balaguru, P., and Shah, S.P., *Fibre Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill, Singapore, 1992.

Fakultas Teknik Sipil, *Pedoman Praktikum Beton*, Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung.

Hannant, D.J., *Fibre Cements and Fibre Concretes*, John Wiley & Sons, New York, 1978.

Malier, Yves. *High Performance Concrete, From Material to Structure*, E & FN Spon, London, 1992.

Stevens, D., *Testing of Fibre Reinforced Concrete*, American Concrete Institute, Michigan, 1995.