

# PENELITIAN PENDAHULUAN HUBUNGAN PENAMBAHAN SERAT POLYMERIC TERHADAP KARAKTERISTIK BETON NORMAL

Yohanes L. D. Adianto, Tri Basuki Joewono

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung  
Email: adi@home.unpar.ac.id, uftribas@home.unpar.ac.id

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan hubungan penambahan serat polymeric terhadap karakteristik beton normal ( $f_c' = 30$  MPa). Penelitian dilakukan dengan menggunakan dua jenis serat polymeric, yaitu serat polypropylene dan nylon. Penelitian ini menguji empat jenis karakteristik beton, yaitu kuat tekan, kuat lentur, modulus elastisitas, dan pembebanan berulang. Analisis menunjukkan bahwa model regresi linier dengan kelinieran pada parameter dapat menjelaskan hubungan dengan baik. Seluruh model yang dibangun mampu menjelaskan variabilitas data dengan baik dan juga merupakan model yang signifikan pada tingkat keterandalan 0,05, kecuali model hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas dengan kadar serat nylon. Model dengan fungsi kuadratis dibangun untuk hubungan kadar serat dengan kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas. Suatu model yang efisien telah dibangun untuk menggambarkan hubungan simultan antara kuat tekan, kadar serat, dengan juga melibatkan variabel umur beton. Model dengan fungsi logaritma dibangun hanya untuk hubungan antara jumlah pembebanan berulang dengan penambahan serat polypropylene, namun tidak pada serat nylon. Analisis menunjukkan bahwa model hubungan pembebanan berulang dengan serat polypropylene lebih baik dibandingkan dengan model untuk serat nylon.

Kata kunci: serat polypropylene, serat nylon, kinerja beton berserat.

## ABSTRACT

*The objective of this research is to explore the effect of adding polymeric fiber to the characteristics of normal concrete ( $f_c' = 30$  MPa). Two types of fiber, namely polypropylene and nylon, are considered. The research tested four types of concrete characteristics, namely compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity, and cyclical loading. According to the analyses, linear regression with linearity in parameter can explain good relationship. All models developed can explain the variability of the data and are significant in the 0.05 level of significance, except for the relationship between compressive strength and modulus of elasticity with percentage of nylon. Quadratic function was developed for the relationship between fiber content with the compressive strength, flexural strength, and modulus of elasticity. An efficient model was created by simultaneously modeling the relationship of compressive strength, fiber content, including the age of concrete. Model with logarithmic function was developed for the relation between number of cyclic loading and content of polypropylene, but not for nylon. Analysis showed that the model between cyclical loadings with polypropylene content was better compared with nylon content.*

*Keywords: polypropylene fiber, nylon fiber, performance of fiber reinforced concrete.*

## 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 beton normal, kinerja tinggi, dan kinerja sangat tinggi [1].

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 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 ke dalam beton diharapkan dapat digunakan untuk memperbaiki karakteristik beton.

---

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2006. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 8, Nomor 2, September 2006.

Penggunaan serat untuk memperkuat material yang getas telah lama dikenal. Serat-serat yang telah umum dipergunakan antara lain terbuat dari baja, polymer, atau *fiber glass*. Salah satu jenis serat yang dapat dipakai adalah serat *polymeric*. Berdasarkan kepustakaan diketahui bahwa serat *polymeric* dapat memperbaiki kinerja beton. [2].

Tujuan penelitian ini adalah untuk membangun hubungan antara penambahan serat *polymeric* terhadap kinerja beton. Serat *polymeric* yang dipergunakan dalam penelitian adalah serat *polypropylene* dan serat *nylon*. Kinerja beton yang diamati adalah kekuatan tekan, kekuatan lentur, modulus elastisitas, ketahanan terhadap beban berulang, dan perkembangan kekuatan tekan beton.

Hubungan antara kadar serat dan kinerja beton normal akan dikembangkan dengan menggunakan analisis regresi. Model regresi digunakan karena relatif mudah diinterpretasikan dan dikomunikasikan, dimana pembangunan modelnya didasarkan pada berbagai asumsi [3]. Ada dua kelinieran dalam analisis regresi, yaitu kelinieran dalam parameter dan kelinieran dalam variabel [4]. Model yang dibangun dalam penelitian ini menggunakan kelinieran dalam parameter. Model regresi yang hanya melibatkan satu variabel bebas disebut sebagai model regresi linier sederhana [5], sedangkan dalam penelitian ini akan dibangun model regresi sederhana dan pula berganda yang melibatkan *dummy variabel*. Pemilihan model terbaik akan dilakukan dengan memperhatikan beberapa ukuran statistik, misalnya koefisien determinasi. Koefisien determinasi merupakan rangkuman pengukuran yang menunjukkan seberapa baik garis regresi menjelaskan data [4]. Akar positif dari koefisien determinasi disebut *Pearson product-moment correlation coefficient* [6].

### BETON SERAT

Beton serat 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 [7]. 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 serat dan meramalkan perilaku dari komposit.

Serat untuk campuran beton dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu [2]:

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 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 adalah sebesar  $900 \text{ gr/m}^3$  beton. Kadar serat *nylon* yang sering digunakan adalah sebesar  $600 \text{ gram/m}^3$ . 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.

**Tabel 1. Karakteristik Serat Polymeric [8]**

Karakteristik	Serat Nylon	Serat Polypropylene
Bentuk	serat tunggal	jaringan serabut tipis yang berbentuk jala
Diameter Serat	23 mikron	90 mikron
Panjang Serat	19 mm	19 mm
Berat Jenis	1,16	0,9
Kekuatan Tarik	9200 kg/cm <sup>2</sup>	5600 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus Elastisitas	52000 kg/cm <sup>2</sup>	35000 kg/cm <sup>2</sup>
Penyerapan Air	4 %	Nihil
Titik Leleh	224 °C	170 °C
Ketahanan Asam dan Garam	Baik	Baik
Ketahanan Alkali Permukaan Beton	Baik tidak berambut (polos)	Baik Berambut

Keuntungan penggunaan serat *polymeric* dalam campuran beton adalah sebagai berikut [2]:

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, dan
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.

## PERCOBAAN LABORATORIUM

Percobaan laboratorium dalam penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji beton normal dengan kokoh tekan  $f_c' = 30$  MPa dan dilakukan penambahan serat dengan berbagai kadar. Benda uji beton normal tersebut selanjutnya diuji karakteristiknya. Empat buah karakteristik yang diuji adalah uji kuat tekan, uji modulus elastisitas, uji pembebanan berulang, dan uji kuat lentur.

Perencanaan campuran beton  $f_c' = 30$  MPa dikerjakan mengikuti metode ACI [9, 10]. Komposisi campuran yang dipergunakan dalam eksperimen ini disajikan dalam Tabel 2. Pada penelitian ini, untuk pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan pembebanan berulang dibuat sampel beton silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan pengujian kuat lentur menggunakan sampel berbentuk balok dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm.

**Tabel 2. Komposisi Campuran Beton [11]**

Material	Semen	Pasir	Kerikil	Air
Berat (kg)	408.89	724.67	957.44	184.00

Penentuan kadar serat maksimal yang akan ditambahkan dalam adukan ditentukan dengan melakukan pengujian slump pendahuluan. Semakin besar kadar serat yang ditambahkan, maka akan semakin menyulitkan pemadatan karena *workability* campuran menjadi menurun. Dari percobaan pendahuluan, kadar serat polypropylene sebesar 1800 gr/m<sup>3</sup> beton dan serat nylon sebesar 1200 gr/m<sup>3</sup> beton menghasilkan *slump* nol. Oleh karena itu kadar tersebut dipakai sebagai patokan kadar serat terbesar. Di dalam perencanaan campuran beton ini digunakan *fly-ash* dan *superplasticizer* sikament-NN untuk memperbaiki *workability*. Berdasarkan hasil pengujian pendahuluan dan juga memperhatikan petunjuk penggunaan dari produsen serat, maka kadar serat polypropylene yang dipergunakan adalah sebanyak 0, 600, 900, 1350, 1800 gram/m<sup>3</sup> dan penambahan serat nylon adalah sebanyak 0, 600, 900, dan 1200 gram/m<sup>3</sup>. Pada penelitian ini umur pengujian kuat tekan adalah 3, 7, 14, 21, dan 28 hari [11]. Jumlah sampel untuk tiap kadar serat pada setiap pengujian karakteristik beton adalah tiga benda uji, baik untuk beton yang menggunakan serat nylon maupun serat polypropylene.

Kekuatan tekan beton merupakan karakteristik beton yang paling umum digunakan, terutama dalam perencanaan struktur. Pada umumnya beton direncanakan hanya untuk menahan gaya tekan. Laju pembebanan disesuaikan dengan syarat yang ada pada ASTM-C39 [12], yaitu antara 1,43-3,47

kg/cm<sup>2</sup>/detik. Besarnya tegangan tekan adalah besar beban tekan dibagi dengan luas permukaan tekan. Beban tekan adalah beban tekan maksimum yang dapat diberikan pada silinder uji.

Pengujian modulus elastisitas dilakukan menurut standar ASTM C 469-83. Pengujian ini untuk mencari *Chord modulus elasticity* (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. Pengujian pembebanan berulang dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) terhadap benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm seperti halnya dalam pengujian kuat tekan. Perbedaannya adalah bahwa pada pengujian kuat tekan laju pembebanan meningkat sebesar 1,43–3,47 kg/cm<sup>2</sup>/detik sesuai ASTM-C39. Sedangkan, dalam penelitian ini pengujian pembebanan berulang dilakukan dengan mengatur UTM agar memberikan beban berbentuk gelombang sinusoidal yang mempunyai frekuensi 3 Hz dengan beban minimum sebesar 10% (3 MPA) dan beban maksimum sebesar 90% (27 MPA), kemudian dicatat jumlah siklus yang terjadi hingga benda uji tersebut hancur. Hasil pengujian adalah berupa catatan jumlah siklus yang menyebabkan kehancuran beton.

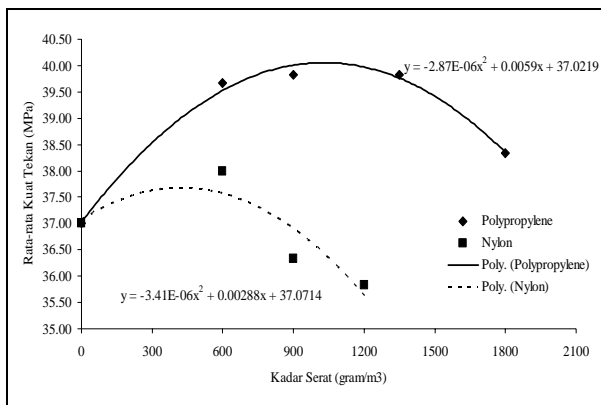
Untuk pengujian kekuatan lentur digunakan benda uji berbentuk balok berukuran 15x15x60 cm. Prosedur pengujian dengan kecepatan pembebanan 8,6-12,1 kg/cm<sup>2</sup> per menit dilaksanakan sesuai ASTM- C78-84 [12]. Pengujian menggunakan benda uji berbentuk balok berukuran 15x15x60 cm yang dibebani sampai runtuh. Beban terpusat P diuraikan menjadi dua beban terpusat sebesar ½P pada sepertiga bentang kiri dan kanan tumpuan. Kekuatan lentur dihitung dengan rumus  $PxL/bxtxt$ . P adalah beban yang diberikan, L adalah panjang bentang, b adalah lebar benda uji, dan t adalah tinggi benda uji.

## DATA DAN ANALISIS

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton normal akibat penambahan serat polypropylene dan serat nylon disajikan dalam Gambar 1. Pada Gambar 1 nampak bahwa seluruh sampel yang menggunakan serat polypropylene memiliki nilai rata-rata kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan yang meng-

gunakan serat nylon. Pada Gambar 1 nampak pula bahwa penambahan kadar serat tidak selalu meningkatkan kuat tekan beton, namun pola pengaruh penambahan kadar serat terhadap kuat tekan beton memiliki fungsi kuadrat. Hal ini mengakibatkan ada penurunan kekuatan tekan beton setelah mencapai kuat tekan optimum pada suatu kadar serat tertentu. Hal ini diduga disebabkan oleh berkurangnya workability campuran, sehingga mengakibatkan sulitnya pematatan adukan. Hal ini akan menimbulkan banyak pori-pori beton akibat udara yang terperangkap. Pori tersebut menjadi titik lemah saat menerima beban tekan. Penurunan kekuatan ini sejalan dengan rekomendasi jumlah serat yang digunakan dalam pemakaian pada umumnya, yaitu untuk serat polypropylene adalah 900 gr/m<sup>3</sup> dan untuk serat nylon adalah sebanyak 600 gr/m<sup>3</sup>.



Gambar 1. Hubungan antara Kadar Serat Polypropylene dan Nylon dengan Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

Hubungan matematis antara kuat tekan dan kadar serat polypropylene disajikan pada persamaan 7. Hubungan antara kuat tekan dan kadar serat nylon disajikan pada persamaan 8.

$$Y = 37.0219 + 5.90E-03X_p - 2.87E-06 X_p^2 \text{ dengan } R^2 = 0.991 \quad (7)$$

$$Y = 37.0714 + 2.88E-03X_n - 3.41E-06X_n^2 \text{ dengan } R^2 = 0.788 \quad (8)$$

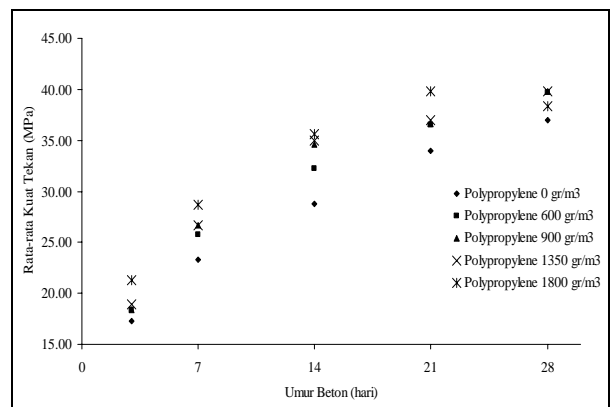
dengan

- Y = rata-rata kuat tekan (MPa)
- X<sub>p</sub> = kadar serat polypropylene (gram/m<sup>3</sup>)
- X<sub>n</sub> = kadar serat nylon (gram/m<sup>3</sup>)
- R<sup>2</sup> = koefisien determinasi

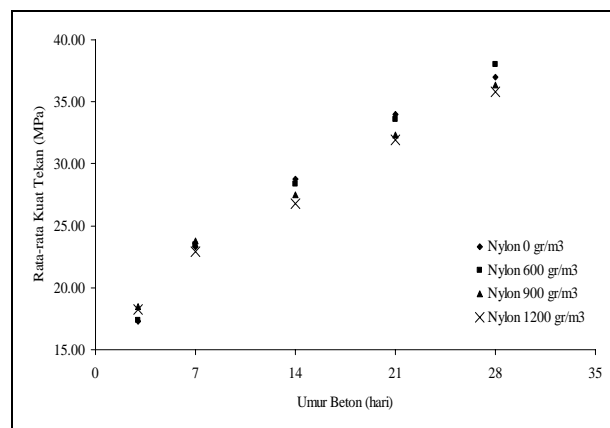
Hubungan matematis antara kuat tekan dan kadar serat yang ditambahkan perlu diuji untuk mengetahui seberapa baik model tersebut menjelaskan data. Dengan memperhatikan nilai koefisien determinasi kedua model, maka dapat disimpulkan bahwa kedua model dapat menjelaskan variabilitas

data dengan baik. Selanjutnya analisis variansi (ANOVA) dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan apakah model tersebut adalah signifikan. Hasil analisis variansi menunjukkan bahwa model dalam persamaan 7 memiliki p-value sebesar 9,19 x 10<sup>-3</sup>, sedangkan model dalam persamaan 8 memiliki p-value sebesar 0,4605. Jika digunakan tingkat keterandalan 0,05 maka model 7 adalah lebih baik bila dibandingkan dengan model 8 dalam hal signifikansi hubungan antara kuat tekan pada umur 28 hari dan kadar serat.

Kekuatan tekan beton akan meningkat sejalan dengan berjalannya waktu pengerasan. Pada Gambar 1 telah disajikan kuat tekan beton pada umur 28 hari. Untuk meneliti pengaruh penambahan serat polypropylene dan serat nylon, maka dilakukan pula pengujian kuat tekan pada umur beton yang berbeda, yaitu 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton disajikan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Hubungan Umur Beton dengan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Kadar Serat Polypropylene



Gambar 3. Hubungan Umur Beton dengan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Kadar Serat Nylon

Hubungan antara kuat tekan pada berbagai kadar serat dan berbagai umur beton disajikan pada persamaan 9 dan 10.

$$\begin{aligned} \text{Tekan} &= 36.7 + 0.00240 \text{ Poly} - 20.1 D_1 - 12.7 D_2 - \\ &\quad 5.70 D_3 - 2.15 D_4 \quad (9) \\ R^2 &= 0.984 \\ t &= (61.44) (6.99) (-28.65) (-18.13) (-8.14) (-3.07) \\ p\text{-value} &= (0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.006) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekan} &= 37.3 - 0.000742 \text{ Nylon} - 18.9 D_1 - 13.4 D_2 - \\ &\quad 8.92 D_3 - 3.84 D_4 \quad (10) \\ R^2 &= 0.992 \\ t &= (85.21) (-2.03) (-36.99) (-26.25) (-17.44) (-7.50) \\ p\text{-value} &= (0.000) (0.061) (0.000) (0.000) (0.000) (0.000) \end{aligned}$$

dengan

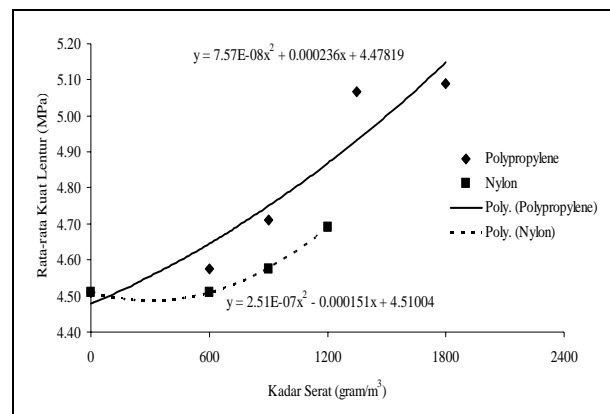
- Tekan = kuat tekan beton normal (MPa)
- Poly = kadar serat polypropylene (gram/m<sup>3</sup>)
- Nylon = kadar serat nylon (gram/m<sup>3</sup>)
- D<sub>1</sub> = 1, jika umur beton 3 hari; 0, jika lainnya
- D<sub>2</sub> = 1, jika umur beton 7 hari; 0, jika lainnya
- D<sub>3</sub> = 1, jika umur beton 14 hari; 0, jika lainnya
- D<sub>4</sub> = 1, jika umur beton 21 hari; 0, jika lainnya
- t = nilai t statistik
- p-value = peluang H<sub>0</sub> ditolak

Pada persamaan tersebut nampak bahwa umur beton dipertimbangkan dalam model sebagai *dummy variable*. Penyusunan sebuah model yang mempertimbangkan umur beton dan kadar serat secara simultan menjadikan model tersebut lebih efisien. Dalam sebuah model yang efisien tersebut dapat diprediksi karakteristik beton berdasarkan kadar serat dan umur betonnya secara bersamaan tanpa menggunakan beberapa rumus yang berbeda. Prediksi karakteristik beton menjadi semakin sederhana karena variabel waktu dan kadar serat dapat divariasikan sedemikian rupa hanya dengan menggunakan sebuah persamaan. Pada persamaan 9 nampak bahwa model dapat menjelaskan 98,4% variasi data pada kuat tekan beton. Hasil analisis varians menunjukkan p-value sebesar 0,000 yang berarti bahwa model tersebut adalah signifikan. Pada persamaan 10 nampak bahwa model memiliki koefisien determinasi 0,992 sehingga dapat disimpulkan bahwa model adalah sesuai dengan data. Analisis varians untuk persamaan 10 juga telah dilakukan dan memberikan *p-value* sebesar 0,000 untuk nilai F sebesar 345.86 pada nilai kritis F<sub>5, 19</sub>, sehingga dapat disimpulkan bahwa model tersebut dapat menjelaskan hubungan dengan baik.

### Hasil Pengujian Kuat Lentur

Karakteristik penting lain dari beton semen portland adalah kuat lentur. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai pengaruh penambahan serat polypropylene dan serat nylon terhadap karakteristik beton, maka dilakukan uji

kuat lentur. Hasil pengujian kuat lentur disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Penambahan Serat Polypropylene dan Serat Nylon terhadap Kuat Lentur Beton

Hubungan antara kuat lentur dan kadar serat yang ditambahkan disajikan pada persamaan 11 dan 12.

$$Y = 4.47819 + 2.36E-04X_p + 7.57E-08X_p^2 \text{ dengan } R^2 = 0.903 \quad (11)$$

$$Y = 4.51004 - 1.51E-04X_n + 2.51E-07X_n^2 \text{ dengan } R^2 = 1.000 \quad (12)$$

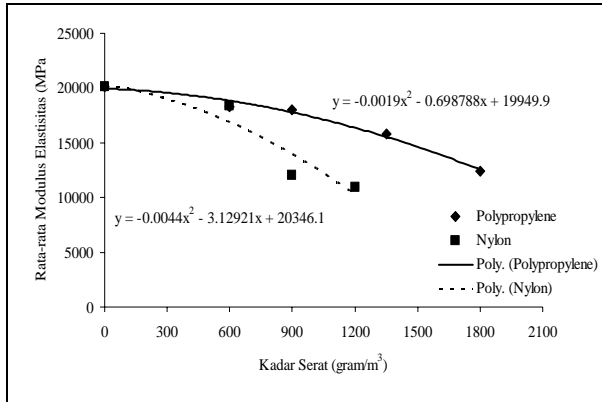
dengan

- Y = rata-rata kuat lentur (MPa)
- X<sub>p</sub> = kadar serat polypropylene (gram/m<sup>3</sup>)
- X<sub>n</sub> = kadar serat nylon (gram/m<sup>3</sup>)
- R<sup>2</sup> = koefisien determinasi

Model dalam persamaan 11 memiliki koefisien determinasi 0,903 dan persamaan 12 memiliki koefisien determinasi 1,000. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut dapat menjelaskan data dengan sangat baik. Analisis varians selanjutnya dilakukan untuk menentukan apakah model tersebut adalah signifikan atau tidak. Analisis varians pada persamaan 11 menunjukkan peluang untuk menolak H<sub>0</sub> adalah sebesar 9,74 x 10<sup>-2</sup>, sedangkan untuk persamaan 12 adalah 2,59 x 10<sup>-3</sup>. Nilai F untuk model 11 adalah 9,26932, sedangkan untuk model 12 adalah 74375,8. Nilai peluang tersebut menunjukkan besarnya peluang untuk mendapatkan nilai F adalah lebih besar dari F<sub>kritis</sub> yang berasal dari tabel F dengan F<sub>0,05; 2; 4</sub> untuk persamaan 11 dan F<sub>0,05; 2; 3</sub> untuk persamaan 12.

### Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Penelitian mengenai pengaruh penambahan serat polypropylene dan serat nylon juga dilakukan terhadap nilai modulus elastisitas. Hasil pengujian modulus elastisitas disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan Kadar Serat Polypropylene dan Serat Nylon dengan Modulus Elastisitas

Model regresi untuk menjelaskan hubungan antara modulus elastisitas dan kadar serat polymeric yang ditambahkan disajikan pada persamaan 13 dan 14.

$$Y = 19949.9 - 0.698788X_p - 1.90E-03X_p^2 \text{ dengan } R^2 = 0.987 \quad (13)$$

$$Y = 20346.1 - 3.12921X_n - 4.40E-03X_n^2 \text{ dengan } R^2 = 0.895 \quad (14)$$

dengan

Y = modulus elastisitas (MPa)

$X_p$  = kadar serat polypropylene (gram/m<sup>3</sup>)

$X_n$  = kadar serat nylon (gram/m<sup>3</sup>)

$R^2$  = koefisien determinasi

Model dalam persamaan 13 memiliki koefisien determinasi 0,987, sedangkan persamaan 14 memiliki koefisien determinasi 0,895. Hal ini menjelaskan bahwa model dapat menjelaskan hubungan antara modulus elastisitas dengan kadar serat polymeric yang ditambahkan dalam campuran dengan baik. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa peluang untuk menolak  $H_0$  adalah  $1,34 \times 10^{-2}$  untuk persamaan 13 dan 0,324608 untuk persamaan 14. Hal ini menjelaskan bahwa model dalam persamaan 14 adalah tidak signifikan pada tingkat keterandalan 0,05.

### Hasil Pengujian Pembebanan Berulang

Untuk mendapatkan gambaran yang semakin jelas mengenai karakteristik beton normal akibat penambahan serat polymeric, maka dilakukan pengujian dengan pembebanan berulang. Pengujian pembebanan berulang dilakukan dengan memberikan pembebanan mengikuti gelombang sinus. Hasil pengujian dengan menggunakan serat polypropylene disajikan dalam bentuk grafis dalam skala logaritmik seperti nampak pada Gambar 6. Hasil pengujian untuk serat nylon disajikan dalam skala normal seperti nampak pada Gambar 7.

Hubungan matematis hasil analisis regresi untuk menentukan jumlah pembebanan berulang dengan

penambahan serat polymeric disajikan pada persamaan 15 dan 16.

$$Y = 10^{2.8292+3.7E-04X_p+5.19E-07X_p^2} \quad R^2 = 0.989 \quad (15)$$

$$Y = 4418.3 + 100.2826X_n \quad R^2 = 0.9798 \quad (16)$$

dengan

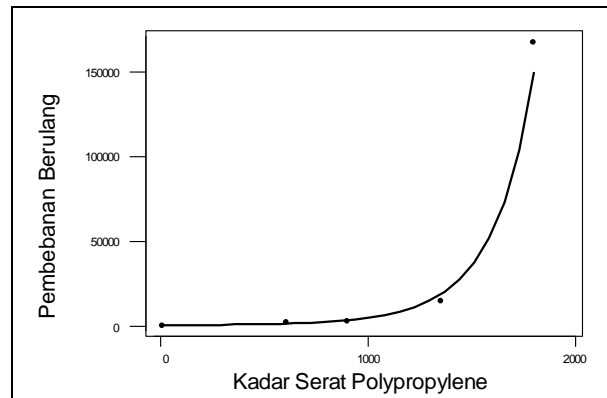
Y = pembebanan berulang

$X_p$  = kadar serat polypropylene (gram/m<sup>3</sup>)

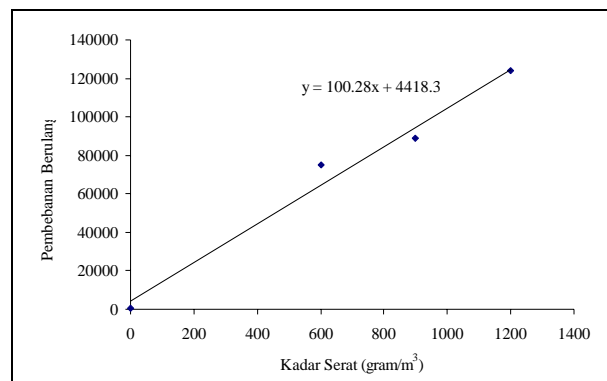
$X_n$  = kadar serat nylon (gram/m<sup>3</sup>)

$R^2$  = koefisien determinasi

Persamaan 15 merupakan persamaan dengan menggunakan nilai logaritma dan memiliki nilai koefisien determinasi 0,989 untuk persamaan 15. Nilai koefisien determinasi untuk persamaan 16 adalah 0,9798. Analisis varians menghasilkan p-value sebesar  $1,11 \times 10^{-2}$  untuk model 15 dan 0,01018 untuk model 16. Berdasarkan analisis varians maka dapat disimpulkan bahwa model 15 adalah lebih baik dalam menjelaskan hubungan antara pembebanan berulang dengan kadar serat pada tingkat keterandalan 0,05.



Gambar 6. Hubungan Kadar Serat Polypropylene dengan Pembebanan Berulang



Gambar 7. Hubungan Kadar Serat Nylon dengan Pembebanan Berulang

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa model regresi linier dengan kelinieran pada parameter dapat menjelaskan dengan baik hubungan antara kadar serat polymeric, baik serat polypropylene maupun serat nylon, dengan karakteristik beton normal. Model regresi linier berhasil membangun model matematis antara kadar serat dengan karakteristik beton normal, yaitu kuat tekan, kuat lentur, modulus elastisitas, dan pembebanan berulang.

Penelitian ini berhasil membangun model untuk hubungan kuat tekan dengan kadar serat polypropylene dengan fungsi kuadratis yang signifikan secara statistik dan juga mampu menjelaskan variabilitas data dengan baik. Model dengan fungsi kuadratis untuk hubungan kuat tekan dengan kadar serat nylon adalah tidak signifikan. Model hubungan simultan antara kuat tekan, kadar serat, dan juga melibatkan variabel umur beton juga telah dibangun, yang menjadikan model tersebut lebih efisien. Pada persamaan tersebut umur beton dipertimbangkan dalam model sebagai *dummy variable*. Analisis menunjukkan bahwa kedua model tersebut adalah signifikan dan juga mampu menjelaskan variabilitas data dengan baik.

Selain hubungan kuat tekan dengan kadar serat, model hubungan antara kuat lentur dengan kadar serat dengan fungsi kuadratis juga telah dibangun. Model tersebut juga merupakan model yang signifikan dan juga mampu menjelaskan variabilitas data dengan baik.

Model regresi untuk menjelaskan hubungan kuadratis antara modulus elastisitas dan kadar serat untuk kedua jenis serat polymeric yang ditambahkan mampu menjelaskan variabilitas data dengan baik. Model hubungan antara modulus elastisitas dengan kadar serat polypropylene merupakan model yang signifikan, namun tidak untuk model hubungan modulus elastisitas dengan kadar penambahan serat nylon.

Hubungan antara jumlah pembebanan berulang dengan penambahan serat polypropylene telah dibangun menggunakan fungsi logaritma, sedangkan hubungan jumlah pembebanan berulang dengan penambahan serat nylon dibangun tanpa menggunakan fungsi logaritma. Kedua model tersebut memiliki koefisien determinasi yang tinggi, namun analisis varians menunjukkan bahwa model untuk serat polypropylene adalah lebih baik dalam menjelaskan hubungan antara pembebanan berulang dengan kadar serat dibandingkan dengan model untuk serat nylon.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Malier, Y., *High Performance Concrete, From Material to Structure*, E & FN Spon, London, 1992.
2. Balaguru, P. and Shah, S.P., *Fibre Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill, Singapore, 1992.
3. Washington, S.P., Karlaftis, M.G., and Mannering, F.L., *Statistical and Econometrics Methods for Transportation Data Analysis*, Chapman&Hall/CRC, Florida, 2003.
4. Gujarati, D.N., *Basic Econometrics*, Fourth Ed., International Edition, McGraw-Hill, Boston, 2003.
5. Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1984.
6. Hicks, C.R., *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*, Third Edition, Holt, Rinehart, and Winston, Inc., New York, 1982.
7. Hannant, D.J., *Fibre Cements and Fibre Concretes*, John Wiley & Sons, New York, 1978.
8. Stevens, D., *Testing of Fibre Reinforced Concrete*, American Concrete Institute, Michigan, 1995.
9. American Concrete Institute, *ACI - Manual of Concrete Practise Part 1, Material and General Properties of Concrete*, American Concrete Institute, Detroit - Michigan, 1994.
10. ACI Committee 211, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*, American Concrete Institute, Detroit - Michigan, 1991.
11. 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.
12. Fakultas Teknik Sipil, *Pedoman Praktikum Beton*, Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung.