

Studi Eksperimental Kapasitas Momen Balok Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Serat *Polipropilena*

Messa Revolis^{1*}, Aris Aryanto²

¹Fakultas Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang

²Fakultas Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung

[*messarevolis@pnp.ac.id](mailto:messarevolis@pnp.ac.id)

Abstract

Beton mutu tinggi banyak digunakan dalam konstruksi modern karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi. Namun, material ini memiliki kelemahan berupa sifat getas yang menyebabkan kemampuan menahan beban lentur dan mengontrol retak menjadi terbatas. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa penambahan serat dapat meningkatkan daktilitas dan ketahanan retak beton. Meskipun demikian, kajian mengenai pengaruh serat polipropilena terhadap kapasitas momen balok beton mutu tinggi, khususnya pada kombinasi dengan tulangan lentur konvensional, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan serat polipropilena terhadap kapasitas momen dan perilaku retak balok beton mutu tinggi. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membuat empat tipe spesimen balok beton mutu tinggi, yaitu: (1) balok tanpa serat polipropilena sebagai spesimen kontrol, (2) balok dengan penambahan serat polipropilena sebesar 0,5%, (3) balok dengan tulangan lentur D13, dan (4) balok dengan tulangan lentur D13 serta serat polipropilena sebesar 0,5%. Seluruh spesimen diuji menggunakan metode pembebanan lentur hingga mencapai kondisi kegagalan. Parameter yang diamati meliputi beban maksimum, deformasi balok dan kapasitas momen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat polipropilena mampu meningkatkan kapasitas momen balok dibandingkan dengan balok tanpa serat. Kombinasi antara tulangan lentur D13 dan serat polipropilena juga menunjukkan kinerja struktural yang lebih baik dibandingkan spesimen lainnya. Penambahan serat polipropilena terbukti mampu meningkatkan kapasitas momen serta meningkatkan daktilitas balok beton mutu tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan serat polipropilena berpotensi menjadi solusi efektif untuk meningkatkan kinerja lentur beton mutu tinggi pada elemen struktur balok.

Keywords: Beton mutu tinggi, serat polipropilena, kapasitas momen, perilaku lentur, balok beton

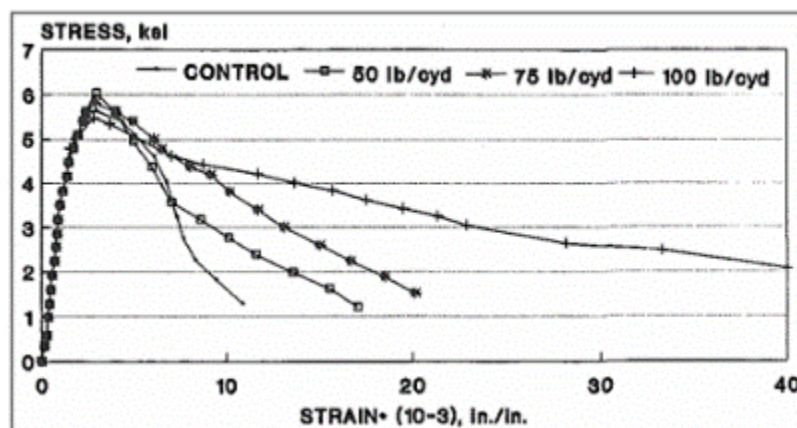
1. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur modern karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan terhadap lingkungan, serta kemudahan dalam proses produksi dan pelaksanaan konstruksi. Seiring

dengan perkembangan teknologi material konstruksi, penggunaan beton mutu tinggi semakin meningkat karena mampu memberikan kapasitas beban yang lebih besar dan durabilitas yang lebih baik dibandingkan beton normal. Beton mutu tinggi umumnya didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan lebih dari 41,4 MPa [1]. Meskipun demikian, peningkatan kekuatan tekan pada beton mutu tinggi sering diikuti dengan meningkatnya sifat getas material sehingga kemampuan deformasi serta ketahanan terhadap retak menjadi lebih terbatas, terutama pada elemen struktur yang mengalami pembebanan lentur seperti balok.

Kinerja beton mutu tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rasio air-semen, kualitas agregat, serta penggunaan bahan tambah kimia. Beton mutu tinggi umumnya memiliki rasio air-semen kurang dari 0,40 atau berkisar antara 0,25 hingga 0,35 [2] [3]. Oleh karena itu, penggunaan bahan tambah seperti *superplasticizer* sering digunakan untuk meningkatkan *workability* tanpa meningkatkan kadar air pada campuran beton. Dalam struktur beton bertulang, tegangan tarik yang terjadi pada elemen struktur umumnya ditahan oleh tulangan baja, sedangkan beton memiliki kapasitas tarik yang relatif kecil sehingga akan mengalami retak apabila tegangan tarik yang terjadi melebihi kuat tarik beton. Retak yang terjadi pada beton dapat berkembang menjadi retak yang lebih besar dan mempengaruhi kinerja struktural elemen beton, khususnya pada kondisi pembebanan lentur.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan retak dan daktilitas beton adalah dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Penambahan serat bekerja dengan cara menyebarkan elemen tulangan kecil secara merata dalam matriks beton sehingga mampu menahan perkembangan retak mikro dan memperlambat propagasi retak akibat pembebanan [4]. Berbagai jenis serat telah digunakan dalam penelitian beton berserat, seperti serat baja maupun serat sintetis. Asyrofi, Vera, dan Mohd (2020) dalam penelitiannya melaporkan bahwa penambahan serat baja pada balok beton bertulang dengan beton mutu normal mampu meningkatkan kapasitas beban maksimum serta momen nominal balok [5]. Sementara itu, penambahan serat pada beton mutu tinggi tidak memberikan peningkatan yang signifikan terhadap kuat tekan beton, namun mampu meningkatkan perilaku pasca-puncak material serta meningkatkan kemampuan deformasi beton setelah mencapai tegangan maksimum [6].



Gambar 1. Diagram tegangan regangan tekan beton serat [6]

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan serat dapat meningkatkan kinerja beton, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan serat baja atau pada karakteristik material beton secara umum. Kajian yang secara khusus mengevaluasi pengaruh serat sintetis, khususnya serat polipropilena, terhadap kinerja lentur

elemen struktur seperti balok beton mutu tinggi masih relatif terbatas. Selain itu, penelitian yang mengkaji interaksi antara serat polipropilena dan tulangan lentur konvensional dalam meningkatkan kapasitas momen serta daktilitas balok beton mutu tinggi juga belum banyak dilaporkan.

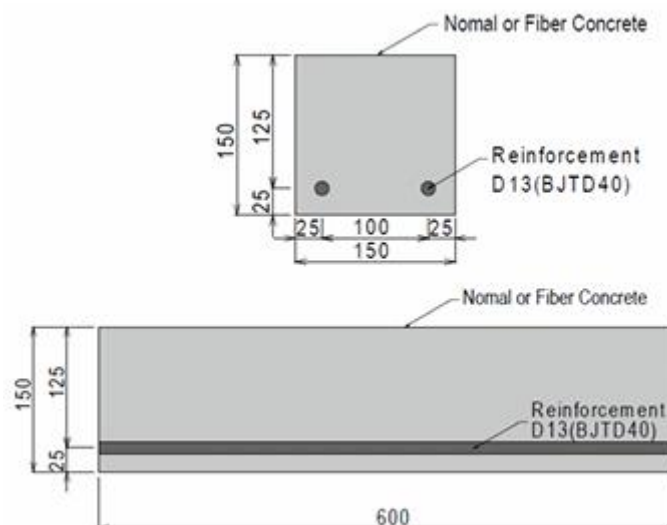
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan serat polipropilena terhadap kapasitas lentur balok beton mutu tinggi melalui pengujian eksperimental. Kebaruan penelitian ini terletak pada kajian eksperimental mengenai kombinasi penggunaan serat polipropilena dan tulangan lentur konvensional pada balok beton mutu tinggi yang dianalisis berdasarkan kapasitas momen serta perilaku deformasi hingga kondisi kegagalan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kontribusi serat dalam meningkatkan kinerja lentur elemen struktur beton mutu tinggi.

2. Metodologi

Persiapan spesimen serta pengujian properti material yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di Gedung CIBE, Institut Teknologi Bandung. Sementara itu, pengujian benda uji balok dilaksanakan di Gedung PAU, Institut Teknologi Bandung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas momen balok yang menggunakan beton mutu tinggi melalui pendekatan eksperimental. Metode penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman mengenai konsep beton mutu tinggi, beton berserat, serta perilaku lentur pada balok beton. Tahap kedua adalah penentuan jenis dan jumlah spesimen yang akan digunakan dalam penelitian. Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.

Tabel 2.1. Detail spesimen

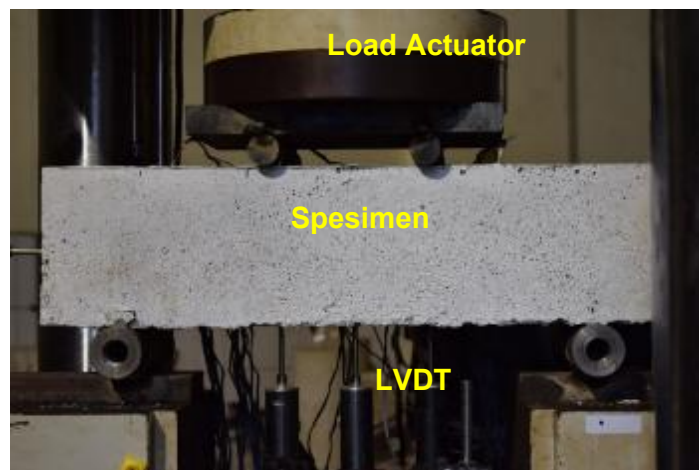
Spesimen	Jenis Beton	Tulangan Lentur
NF-PC	Normal	Tidak
F-PC	Fiber	Tidak
NF-RC	Normal	2D13
F-RC	Fiber	2D13



Gambar 2. Dimensi balok (dalam mm)

Tahap ketiga adalah pembuatan spesimen beton yang dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 03-2834-2000 [7] mengenai tata cara pembuatan campuran beton normal. Tahap selanjutnya adalah pengujian properti material untuk memperoleh karakteristik fisik dan mekanik dari material yang digunakan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan beton dan pengujian kuat tarik baja tulangan yang mengacu pada SNI 1974-2011 [8] dan SNI 8389:2017 [9].

Tahap berikutnya adalah pengujian lentur balok untuk mengetahui kapasitas momen serta perilaku balok beton mutu tinggi terhadap pembebanan. Pengujian lentur dilakukan sesuai dengan ketentuan SNI 4431-2011 [10]. Detail *set-up* pengujian serta penempatan alat ukur *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Loading test set up*

Data hasil pengujian yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kapasitas momen, pola retak, serta perilaku deformasi balok. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan pembahasan, penarikan kesimpulan, serta penyusunan saran pada penelitian ini.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian material yang dilakukan berupa pengujian beton dan baja tulangan. Pada beton dilakukan pengujian kuat tekan beton dimana didapatkan besaran kuat tekan beton antara beton normal dengan beton serat sama-sama 62 MPa. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton digunakan pendekatan yang sesuai untuk mendapatkan besaran properties material beton yang disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Properties material beton

Properties material	Beton Normal	Beton Fiber	Satuan
Kuat tekan beton (f_c)	62	62	MPa
Modulus elastisitas (E_c)	38056	33014	MPa
Poisson ratio (ν)	0.15	0.15	-
Kuat tarik beton (f_t)	4.189	4.886	MPa

Dari pengujian baja tulangan didapatkan besaran tegangan leleh, tegangan ultimate dan regangan maksimum dari tulangan D13 BJTD40. Besaran tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Properties material baja tulangan

Properties material	D13	Satuan
Tegangan Leleh (f_y)	353	MPa
Tegangan Ultimate (f_u)	515	MPa
Regangan Maksimum (ϵ)	0.213	-
Modulus young (E)	200000	MPa

Pengujian pada serat polipropilena tidak dilakukan dikarenakan tidak ada alat yang sesuai dalam melakukan pengujian, oleh karena itu digunakan data dari pabrik dimana serat berukuran 60 mm kuat tarik sebesar 640 MPa.

3.2 Hasil Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen balok beton dengan pembebanan 4 titik dimana dari hasil pengujian didapatkan data-data berupa beban maksimum dan juga lendutan yang terjadi. Data ini didapatkan dari pembacaan LVDT pada saat pengujian berlangsung. Tabel 3.3 berikut merupakan rangkuman dari data pembacaan LVDT.

Tabel 3.3 Data pengujian saat beban maksimum dan lendutan

Spesimen	Beban maksimum (kN)	Lendutan (mm)
NF-PC	31.8	0.275
F-PC	37.02	0.135
NF-RC	164.8	3.08
F-RC	192.26	2.52

3.3 Perhitungan Kapasitas Momen Nominal Balok

Kapasitas momen balok dapat ditentukan berdasarkan beban maksimum yang diperoleh dari hasil pengujian eksperimental. Namun demikian, untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif, diperlukan analisis secara teoritis sebagai pembandingan terhadap hasil pengujian. Perhitungan teoritis dilakukan dengan menggunakan data hasil pengujian properti material serta pendekatan analisis yang sesuai dengan teori perencanaan struktur beton.

Dalam penelitian ini, analisis kapasitas momen dilakukan baik untuk balok dengan beton normal maupun balok dengan beton serat. Perhitungan kapasitas momen balok beton normal mengacu pada ketentuan dalam SNI 2847:2019 [11], yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas lentur elemen struktur beton bertulang.

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Dimana tinggi blok tegangan beton normal menggunakan persamaan

$$a = \beta_1 \cdot c = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Pada perhitungan momen nominal balok beton dengan serat dilakukan dengan asumsi desain untuk analisis balok tulangan tunggal dengan campuran serat baja sebelum penampang mengalami kegagalan [12]. Berikut ini persamaan yang digunakan,

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + \sigma_t \cdot b \cdot \frac{(h-c)(h+c-a)}{2}$$

Dimana tinggi blok tegangan beton serat menggunakan persamaan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y + \sigma_t \cdot b \cdot h}{\lambda \cdot f'_{cf} \cdot b + \sigma_t \cdot b}$$

Parameter λ digunakan sebesar 0.86 untuk beton dengan kuat tekan besar dari 55 Mpa dan untuk tegangan tarik dalam beton serat menggunakan persamaan dibawah ini

$$\sigma_t = 0.772 \cdot V_f \cdot \left(\frac{l_f}{d_f}\right) \cdot F_{be}$$

Dimana V_f merupakan presentase fiber, l_f panjang fiber, d_f diameter fiber dan F_{be} bond efisiensi fiber yang divariasikan, nilainya 1.2.

Berdasarkan persamaan yang telah disajikan sebelumnya, dilakukan perhitungan secara teoritis untuk menentukan kapasitas momen nominal pada masing-masing spesimen. Hasil perhitungan tersebut kemudian dirangkum dan disajikan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hasil perhitungan momen nominal berdasarkan pengujian dan teoritis

Spesimen	Pengujian		Teoritis		Perbandingan (%)	
	P (kN)	Mn (kN.m)	P (kN)	Mn (kN.m)	Pengujian	Teoritis
NF-PC	31.80	2.38	31.31	2.35	16.41	16.49
F-PC	37.02	2.78	36.48	2.74		
NF-RC	164.80	12.36	167.47	12.56	16.66	15.87
F-RC	192.26	14.42	194.05	14.55		

Hasil pengujian eksperimental dan perhitungan teoritis menunjukkan nilai yang relatif konsisten, sehingga data hasil pengujian dapat digunakan sebagai representasi kinerja balok. Pada balok tanpa tulangan, kapasitas momen nominal pada spesimen NF-PC sebesar 2,38 kN.m, sedangkan pada spesimen F-PC sebesar 2,78 kN.m. Sementara itu, pada balok bertulang, kapasitas momen nominal pada spesimen NF-RC sebesar 12,36 kN.m, sedangkan pada spesimen F-RC sebesar 14,42 kN.m. Berdasarkan hasil tersebut, terjadi peningkatan kapasitas momen pada balok dengan penambahan serat sebesar sekitar 7% dibandingkan dengan balok tanpa serat. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan serat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kapasitas lentur balok beton.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan serat polypropylene sebesar 0,5% tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kuat tekan beton mutu tinggi antara beton normal dan beton serat. Namun demikian, penambahan serat terbukti mampu meningkatkan kapasitas beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok. Hal ini disebabkan oleh kemampuan serat dalam meningkatkan daktilitas beton, sehingga balok mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum mencapai kondisi kegagalan.

Selain itu, penambahan serat polypropylene juga berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas momen nominal balok. Dengan demikian, penggunaan serat polypropylene

memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan kinerja lentur balok beton mutu tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] Dobrowolski, A.J., 1998, Concrete Contruction Hand Book. Mc. Graw-Hill Companies Inc, New York
- [2] MacGregor, J. G., dan Wight, J.K., 2006. Reinforced concrete mechanics and design, Prentice – Hall, Inc (buku)
- [3] Imran, I., dan Zulkifli, E., (2014)., Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang, Penerbit ITB
- [4] Soroushian, P., and Bayashi, Z., “Concept Of Fiber Reinforced Concrete”, Proceeding Of The International Seminar On Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, Michigan, USA.
- [5] Putra, A.M., Noorhidana, V.A., dan Isneini, M., 2020, Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang pada Beton Mutu Normal, Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD) Vol. 8 No. 2 (2020)
- [6] Ezeldin, A.S., dan Balaguru, P.N., 1992, Normal and High Strength Fiber Reinforced Concrete under Compression, Journal of Material Engineering, 4, 415-429.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, 2000, SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton, BSN, Jakarta
- [8] Badan Standarisasi Nasional, 2011, SNI 1974-2011, Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, BSN, Jakarta
- [9] Badan Standarisasi Nasional, 2017, SNI 8389-2017, Cara Uji Tarik Logam, BSN, Jakarta.
- [10] Badan Standarisasi Nasional, 2011, Cara Uji Kuat Tekan Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan, BSN, Jakarta
- [11] Badan Standarisasi Nasional, 2019, SNI 03-2847-2019, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, BSN, Jakarta.
- [12] Henager, C.N., dan Doherty, T.J., 1976, Analysis of Reinforced Fibrous Concrete Beams, Journal of the Structural Division, ASCE, V. 102, No. ST, pp, 177-188
- [13] American Concrete Institute, 2018, ACI 544.4R-18, Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete, ACI Committee 544.