

KARAKTERISTIK BETON MUTU K-200 MENGGUNAKAN SERAT 2% BERAT VOLUME DENGAN VARIASI RASIO L/D

Tri Mulyono^{1,*}

¹⁾D3 Transportasi Rumpun Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta
Jl. Rawamangun Muka Jakarta 13220

^{*)}Email : trimulyono@unj.ac.id

Abstract

This research aims to determine the characteristics of K-200 concrete according to Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 article B.06, using steel fibers (bendrat wire) with 2% steel fiber by weight of concrete volume and variations in the L/D ratio through laboratory tests. The total population is 12 specimens with a sample of compressive strength 5 specimens and split tensile strength 4 specimens for each treatment which is a random sample, i.e.: A (reference concrete); B, C, D, and E for concrete with 2% fiber and L/D ratio of 50; 62.5; 75 and 87.5. The test results of concrete materials meet the SNI. The significance level of 0.05 indicates that the test data are normal distribution and uniform. The hypothesis result shows that there is a difference between the reference concrete and the concrete fiber with variations L/D. The unit weight of concrete between the reference concrete and the concrete with variations of L/D is slightly different. The slump value decreases with the L/D ratio. Characteristics of the concrete increase up to L/D 75. Based on the design of K-200 concrete per-as Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 article B.06, compressive strength, split tensile strength, and flexural strength for reference concrete are 17,316 MPa, 2,317 MPa, and 3,083 MPa, greater than 35,9%, 43,8%, and 28,7% of design. Fiber concrete with variation of L/D, compared with reference concrete is greater than 32,7%, 39,7% and 26,2%.

Kata kunci : K-200 Concrete, Fiber-steel Concrete, L/D ratio

PENDAHULUAN

Bahan serat yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat beton adalah baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), *polymers*, asbes dan carbon (Mulyono, 2015, 2021). Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 memberikan mutu beton 7,4 – 31,2 MPa atau K-175 sampai K-350 untuk pekerjaan beton (SNI 7394:2008 Tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Untuk Konstruksi Bangunan Gedung Dan Perumahan, 2008). Lemahnya kuat tarik beton dapat tergantikan dengan serat baja yang

disebarkan secara merata kedalam adukan beton untuk meningkatkan karakteristik fisik (sifat mekanik) melalui aksi komposit pada beton struktural. Beberapa pustaka yang relevan dan terkini yang berhubungan dengan penelitian sebagai “state of the arts”, penggunaan serat kawat bendrat pada campuran beton menunjukkan kandungan serat 2% memberikan kuat tekan 25,59 MPa dan kuat tarik belah 2,38 MPa lebih besar dibandingkan kuat tekan rencana 20,92 MPa (Juwarnoko, 2019). Penggunaan serat kawat bendrat yang ditekuk pada

kedua ujungnya dibandingkan dengan serat yang lurus, kuat tekan tidak menunjukkan pengaruh (Kawuluan et al., 2019; Malino et al., 2019). Penambahan serat 2% dengan panjang +50 mm pada beton normal memberikan nilai 16,18 MPa meningkat 11,35% (Sugiarto, 2017). Penggabungan serat kawat bendrat 0,5–1,5% dan panjang 60 mm dengan serat kaca 10% menghasilkan proporsi optimum serat kawat bendrat 1,5% dan serat kaca 10%. Kuat tekannya 16,25 MPa dan kuat tarik belah 4,64 MPa meningkat 31,81% dari kuat tekan tanpa serat (Uluhiyah, 2018).

Pengaruh penambahan kawat bendrat terhadap beton normal pada kuat tekan umur beton 14 meningkat 34,31% dan 28 hari sebesar 20,47% (Kurniawan, 2021). Optimal panjang serat 6 cm pada proporsi 0,75% serat kawat dalam berat volume dapat mencapai 42,14 MPa (Prayitno et al., 2016). Penelitian lainnya, meningkatkan kuat tekan 11,429% dan tarik 3,743% (Foermansah, 2013) serta 32,71% peningkatan kuat tekan dan 41,82% untuk kuat lentur (Nugraha, 2018). Penggunaan proporsi kawat lebih dari 2%, peningkatannya sebesar 7,01% dan kuat tarik belah 39,92% (Juanita & Putra, 2021).

Penggunaan rasio $L/D=12,5$ dalam campuran dengan serat bendrat 3% diperoleh kuat tarik terbesar 2,41 MPa atau meningkat 2 kali dari beton tanpa serat, sedangkan untuk kuat geser maksimal mencapai 4,94 MPa dengan kenaikan 54% dibandingkan dengan beton tanpa serat (Hafiz S.G et al., 2015). Metode perawatan beton

juga akan menghasilkan kuat tekan yang berbeda, perawatan dengan perendaman akan lebih tinggi dibandingkan dengan dirawat kering pada beton serat (Junus, 2017).

Parameter praktis yang mendeskripsikan serat adalah rasio L/D , didefinisikan sebagai panjang serat dibagi dengan diameter serat. Rasio tipikal berkisar dari sekitar 30 hingga 150 untuk panjang 6 hingga 75mm (ACI 544.5R, 2010; Wafa, 1990). Rasio aspek berkisar dari 20 hingga 100, sedangkan dimensi panjang sekitar 6,4–76 mm. Peningkatan volume serat dalam campuran beton akan memberikan efek linear peningkatan kekuatan tarik dan kekuatan tekan. Penggunaan persentase serat yang lebih tinggi cenderung menyebabkan pemisahan dan kekerasan beton dan mortar menurun. Kisaran tipikal fraksi volume yang digunakan untuk beton yang dicor setempat untuk beton serat baja sebesar 0,25–1,5% berat volume. Penambahan serat baja dapat mengurangi nilai slump yang diukur dari komposit dibandingkan dengan campuran non-serat dalam kisaran 25 hingga 102 mm (ACI 544.5R, 2010).

Merujuk pada uraian di atas dan “state of the arts”, hasil penelitian terdahulu menunjukkan penggunaan serat 0,75–3,0% memberikan hasil kuat tekan yang variasi dengan kenaikan optimal sebesar 2% proporsi serat dengan panjang serat yang digunakan sekitar 5–6 cm untuk beton mutu normal. Penelitian sebelumnya belum banyak yang fokus pada rasio panjang (L) dengan diameter (D), oleh

karena itu menarik untuk dikaji penggunaan serat dengan variasi rasio L/D. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji karakteristik beton mutu K200 menggunakan serat kawat baja (bendrat) proporsi 2% dalam campuran dengan variasi rasio L/D.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah studi eksperimen di Laboratorium Uji Bahan Universitas Negeri Jakarta selama periode Juni – Oktober 2021. Beberapa metode pemeriksaan bahan penyusun beton dan beton yang digunakan mengikuti standar nasional Indonesia (SNI), ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. SNI yang digunakan dalam penelitian

Deskripsi	Metode
Sifat dan karakteristik agregat	<ul style="list-style-type: none"> • Penyiapan benda uji (SNI 03-6717-2002) dan pengambilan contoh uji (SNI 6889:2014) • Analisa saringan (SNI ASTM C136:2012) dan syarat gradasi beton serat (ACI 544.5R, 2010) • Bahan organik dalam agregat (SNI 2816:2014), lumpur (ASTM C142 / C142M - 17; SNI 03-4428-1997) • Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970:2016) dan kasar (SNI 1969:2016)
Mix Design Beton segar dan contoh uji	<ul style="list-style-type: none"> • Permen PUPR Nomor 28/PRT/M/2016 butir B.06. • Pengadukan beton SNI 03-3976-1995, pembuatan benda uji dan perawatan (SNI 2493:2011), Contoh Beton Segar (SNI 2458:2008), uji slump (SNI 1972:2008), berat isi (SNI 1973:2016)
Pengujian beton keras	<ul style="list-style-type: none"> • Kaping beton (SNI 6369:2008), Uji kuat tekan (SNI 1974:2011), kuat tarik belah (SNI 2491:2014)

Populasi dalam penelitian merupakan data yang didapatkan dari contoh uji (*specimen*) berupa benda uji silinder beton untuk lima perlakuan A–Beton tanpa serat (beton referensi), B–Beton serat L/D 50, C–Beton serat L/D 62,5 dan D–Beton serat L/D 75 serta E–Beton serat L/D 87,5, sampel berupa sejumlah data yang diambil secara acak dalam populasi. Banyaknya populasi untuk setiap perlakuan 12 benda uji dan sampel sebanyak 5 benda uji untuk uji tekan dan 4 benda uji untuk uji tarik belah.

Nilai kuat lentur (f_{cf}) dalam penelitian ini didapatkan dari konversi hasil uji kuat tekan (f'_c) dan kuat tarik belah (f_{cs}). Hubungan antara kuat

tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan Pers. 1 dalam MPa dan Pers. 2 dalam kg/cm^2 (Pd T-14-2003). Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (MPa atau kg/cm^2) dinyatakan dengan f'_c dan f_{cf} adalah kuat lentur beton 28 hari (MPa atau kg/cm^2) serta K merupakan konstanta dengan nilai $K = 0,70$ untuk agregat tidak dipecah dan $K = 0,75$ untuk agregat pecah. Kuat lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton (f_{cs}) yang dilakukan menurut (SNI 2491:2014) dengan Pers. 3 dalam MPa dan Pers. 4 dalam kg/cm^2 . Kuat lentur beton secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm^2). Nilai kuat lentur, f_{cf} di

intreprestasikan dari hasil uji kuat tekan, f'_c dan tarik belah, f_{cs} menggunakan Pers. 1 dan Pers. 3.

$$f_{cf} = K(f'_c)^{0,50} \quad (1)$$

$$f_{cf} = 3,13K(f'_c)^{0,50} \quad (2)$$

$$f_{cf} = 1,37 f_{cs} \quad (3)$$

$$f_{cf} = 13,44 f_{cs} \quad (4)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan beton umur 28 hari (MPa atau kg/cm²)

f_{cf} = kuat lentur beton umur 28 hari (MPa atau kg/cm²)

f_{cs} = kuat tarik belah beton umur 28 hari (MPa atau kg/cm²)

K = konstanta ($K = 0,70$, agregat tidak dipecah dan $K = 0,75$, agregat pecah)

Agar data menjadi informasi sehingga karakteristik data menjadi mudah untuk dipahami dan bisa dipergunakan untuk mengambil sebuah kesimpulan, maka data dilakukan pengujian persyaratan analisis dan hipotesis statistik. Metode Saphiro–Wilk dilakukan untuk uji normalitas dan uji homogenitas data dengan “F-Test Two-Sample for Variances”. Penelitian ini menggunakan hipotesis statistik, yang secara umum dinyatakan dengan $H_0: \mu_0 = \mu_1$ dan $t H_1: \mu_0 \neq \mu_1$ dengan μ_0 = Karakteristik beton K200 tanpa menggunakan serat baja (beton referensi) dan μ_1 = Karakteristik beton K200 dengan menggunakan serat baja dengan variasi rasio L/D. Data yang digunakan adalah data kuat lentur hasil konversi kuat tekan dan kuat tarik belah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Pengujian

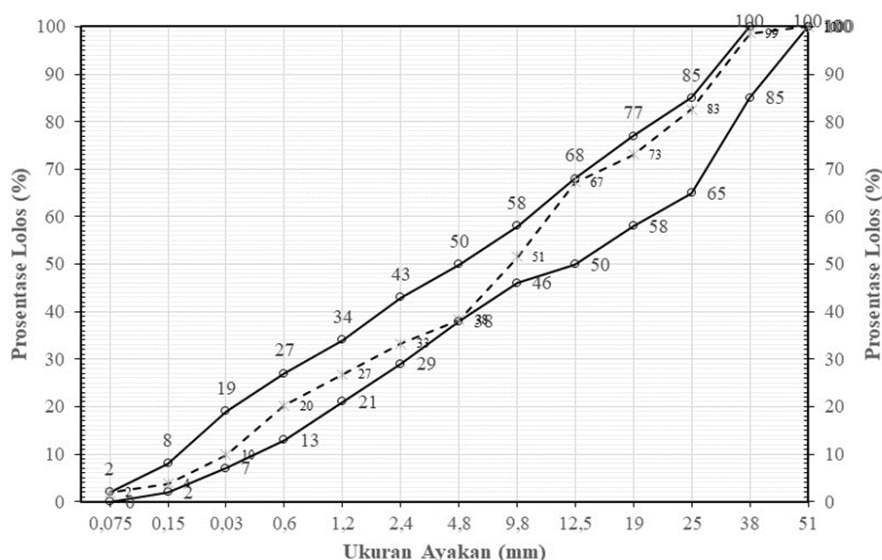
1. Pengujian Bahan

Bahan semen, air dan tambah kimia menggunakan Plastocrete 1003 tidak dilakukan pengujian dalam penelitian ini. Bahan beton yang diuji hanya untuk agregat. Pemeriksaan agregat menggunakan SNI dengan hasil pemeriksaan bahan sesuai SNI. Data yang digunakan untuk perancangan adalah data hasil uji bahan-bahan penyusun dengan kondisi jenuh permukaan kering (JPK).

Material untuk agregat halus bersumber dari toko material yang berada di sekitar Rawamangun-Jakarta, sumber asal agregat umumnya dari daerah Bogor. Hasil uji agregat memenuhi syarat SNI, dengan berat isi agregat halus (pasir) 1,627 t/m³ (gembur) dan 1,662 t/m³ (padat). Berat isi agregat kasar (batu pecah) dalam keadaan gembur dan padat sebesar 1,539 t/m³ dan 1,556 t/m³. Berat jenis pasir kondisi kering tungku dan jenuh permukaan kering (JPK) sebesar 2,698 dan 2,822 serta penyerapannya 4,589%. Berat jenis batu pecah 2,489 dan 2,563 pada kondisi jenuh kering permukaan.

Kandungan lumpur, dan partikel halus, hasil uji memenuhi syarat kurang dari 5% dan kandungan organik mendekati “organic plate No.3”. Menggunakan pasir yang memenuhi daerah 2 (pasir sedang) dengan proporsi 40% dan agregat kasar (batu pecah) dengan maksimum 40 mm sebesar 60%, pencampuran agregat yang diplotkan pada batas gradasi untuk agregat beton dengan serat baja,

memenuhi ACI 544.5R (2010) seperti ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik agregat gabungan 40% pasir dan 60% batu pecah sesuai syarat ACI Comittee 544 (2010)

2. Campuran Rencana

Rancangan campuran berdasarkan Permen PUPR Nomor 28/PRT/M/2016 butir B.06. Kuat tekan rencana 16,9 MPa (K 200), slump (12 ± 2) cm, w/c = 0,61. Proporsi bahan campuran 1 m³ di Tabel 2. Variasi rasio L/D untuk 5 perlakuan, A–Beton tanpa serat atau referensi; B–Beton serat L/D 50,0; C–Beton serat L/D 62,5; D–Beton serat L/D 75; dan E–Beton serat L/D 87,5. Serat yang digunakan adalah serat baja dari potongan kawat bendrat dengan diameter 0,8 mm sepanjang $\pm 4, 5, 6$ dan 7 cm.

3. Pengujian Beton Segar Beton Segar

Hasil pengujian beton segar ditunjukkan di Tabel 3 dan Gambar 2, didapatkan rata-rata berat isi benda uji antara 2.142–2.212 kg/m³ dengan nilai slump 55–95 mm.

Tabel 2. Proporsi beton K-200

Bahan Penyusun Beton	Berat (kg/m ³)
Semen	352
Pasir Beton	731
Batu Pecah	1.031
Air	215
Superplastisizer (SIKA Plastocrete 1003), 2%	4,30
Serat Baja (Bendrat) 2% dari berat Volume	46,333
Jumlah	2.380

4. Kuat Tekan dan Tarik Belah

Hasil pengujian beton keras, menghasikan kuat tekan (f'_c), 17,316 MPa untuk beton referensi dan beton serat 2% berat volume dengan variasi L/D sebesar 19,639–22,975 MPa. Hasil uji kuat tarik belah, f_{cs} untuk beton referensi sebesar 2,317 MPa dan serat 2% berat volume dengan variasi L/D sebesar 2,600–3,236 MPa. Nilai kuat tarik belah rencana dicari dengan menggunakan Pers. 3 yang disubstitusikan ke Pers. 1, didapatkan Pers. 5 dalam MPa, dengan nilai

$K = 0,75$ untuk batu pecah, didapatkan untuk nilai kuat tarik belah rencana, $f_{cs} = 2,251 \text{ MPa}$.

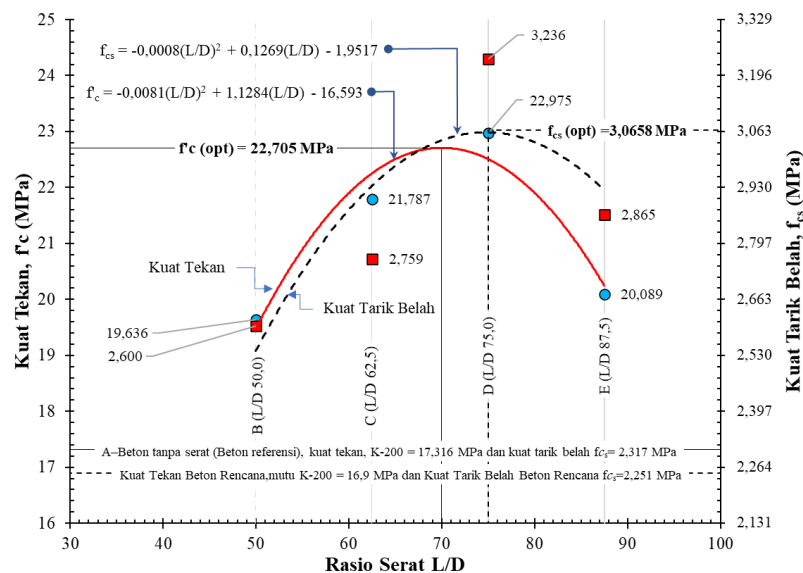
$$f_{cs} = \frac{[K(f_c')^{0,50}]}{1,37} = 0,547(f_c')^{0,50} \quad (5)$$

Merujuk **Error! Reference source not found.**, semua hasil uji kuat tekan dan tarik belah menghasilkan nilai yang lebih besar dari kuat tekan rencana 16,9 MPa (K-200) dan kuat tarik belah 2,251 MPa. Kuat tekan beton dan kuat tarik belah yang menggunakan serat 2% menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan beton

referensi. Kuat tekan dan kuat tarik belah masih dapat meningkat sampai dengan rasio L/D 75, kemudian kekuatannya menurun untuk L/D yang lebih besar. Nilai optimum kuat tekan beton serat 2% didapatkan untuk rasio L/D 70 sebesar 22,705 MPa atau 34,35% lebih besar dari kuat tekan rencana dan 31,12% dari beton referensi. Kuat tarik belah optimum beton serat 2% didapatkan pada rasio L/D 75 dengan kuat tarik belah sebesar 3,0658 MPa atau 36,2% lebih besar dari kuat tarik belah rencana dan 32,32% dari beton referensi.

Tabel 3. Hasil rata-rata pengujian beton segar dan beton keras

Perlakuan (Rasio L/D)	Beton Segar		Beton Keras Umur 28 Hari	
	Hasil Uji Slump (mm)	Berat Isi (kg/m^3)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tarik belah (MPa)
A–Beton tanpa serat (Beton referensi)	95	2.210	17,316	2,317
B–Beton serat L/D 50,0	60	2.142	19,636	2,600
C–Beton serat L/D 62,5	62	2.212	21,787	2,759
D–Beton serat L/D 75,0	68	2.167	22,975	3,236
E–Beton serat L/D 87,5	55	2.194	20,089	2,865



Gambar 2. Kuat tekan dan kuat tarik belah beton serat 2% berat volume dengan variasi rasio L/D

5. Kuat Lentur

Kuat lentur beton serat 2% dengan variasi rasio L/D merupakan hasil konversi kuat tekan (f'_c), ke lentur (f_{cf}) dan kuat tarik belah (f_{cs}) ke kuat lentur (f_{cf}). Menggunakan Pers. 1 dengan 5 data benda uji, dan Pers. 3 dengan 4 data benda uji untuk setiap perlakuan, hasilnya di Tabel 3 yang rata-ratanya disajikan pada Gambar 2.

Nilai kuat lentur yang dihasilkan semuanya lebih besar dari rencana 3,083 MPa. Kuat lentur beton referensi sebesar 3,144 MPa atau 1,98% lebih besar dari rencana. Kuat lentur beton dengan serat 2% menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan beton referensi. Kuat lentur masih dapat meningkat sampai dengan rasio L/D 72,5, kemudian kekuatannya menurun untuk L/D yang lebih besar. Nilai optimum beton serat 2% dengan rasio L/D 72,5 sebesar 3,844 MPa atau

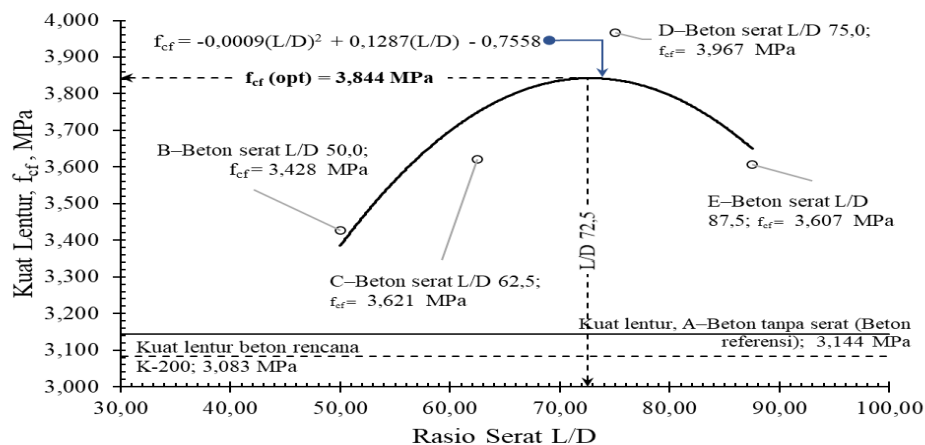
lebih besar 22,26% dari beton referensi dan 24,68% dari kuat lentur rencana.

6. Hipotesis Statistik

Pengujian persyaratan analisis dengan uji normalitas dan homogenitas data dilakukan untuk membuktikan hipotesis menggunakan data Tabel 3, hasil uji metode Saphiro–Wilk dengan alat bantu MS-excel menghasilkan nilai Saphiro–Wilk hitung berturut-turut 0,0073; 0,7942; 0,4349; 0,6695 dan 0,4011. Nilai Tabel Saphiro-Wilk pada taraf nyata, $\alpha=0,05$ untuk 9 data sebesar 0,829, jadi menolak H_0 atau data dinyatakan terdistribusi normal. Uji homogenitas data dengan “F-Test Two-Sample for Variances” menunjukkan semua perlakuan memberikan nilai t–hitung lebih kecil dari t–kritis, artinya data semuanya seragam.

Tabel 4: Kuat lentur beton serat hasil konversi kuat tekan dan kuat tarik belah silinder beton, MPa

n-Data	A–Beton tanpa serat atau referensi	B–Beton serat L/D 50,0	C–Beton serat L/D 62,5	D–Beton serat L/D 75,0	E–Beton serat L/D 87,5.
1	3,012	3,455	3,090	3,613	2,932
2	3,116	3,116	3,742	3,523	3,241
3	3,241	3,385	3,523	3,656	3,478
4	3,167	3,432	3,546	3,742	3,523
5	3,064	3,216	3,568	3,432	3,590
6	3,004	3,004	2,713	3,973	3,295
7	3,876	4,748	3,682	4,458	4,167
8	2,520	2,907	4,458	4,652	4,264
9	3,295	3,586	4,264	4,652	3,973
Rata-rata	3,144	3,428	3,621	3,967	3,607
Standar deviasi	0,354	0,544	0,531	0,492	0,446
Min	2,520	2,907	2,713	3,432	2,932
Maks	3,876	4,748	4,458	4,652	4,264



Gambar 3. Kuat lentur beton serat 2% berat volume dengan variasi rasio L/D

Hipotesis statistik dinyatakan dengan $H_0: \mu_0 = \mu_1$ dan $H_1: \mu_0 \neq \mu_1$, dengan μ_0 adalah karakteristik beton K-200 atau karakteristik beton referensi, dan μ_1 yaitu karakteristik beton hasil uji yang diwakili dari data kuat lentur hasil konversi kuat tekan dan kuat tarik belah menggunakan serat baja 2% berat volume campuran dengan variasi rasio L/D. Hasil uji t-Test, membandingkan rata-rata berpasangan antara beton tanpa serat dengan yang menggunakan serat menggunakan fungsi “Data Analysis” dari VBA MS-Excel untuk “t-Test: Paired Two Sample for Means” menunjukkan bahwa ada perbedaan rata-rata antara beton serat bervariasi rasio L/D dengan yang tidak menggunakan serat atau beton referensi.

b. Pembahasan

1. Karakteristik Nilai Slump dan Berat Isi Beton Serat 2% dari Berat Volume

Nilai slump beton secara umum lebih kecil dari rencana 120+20 mm, dengan nilai slump 55–95 mm atau penurunan

sekitar 25–65 mm. Nilai slump beton referensi sebesar 95 mm dan beton serat 2% dengan variasi rasio L/D menghasilkan nilai slump 55–68 mm atau penurunan sekitar 27–40 mm dibandingkan dengan beton referensi sesuai data di Tabel 2. Penambahan serat baja dapat mengurangi nilai slump yang diukur dari komposit dibandingkan dengan campuran non-serat dalam kisaran 25 hingga 102 mm sesuai dengan ACI 544.5R (2010). Hasil uji menunjukkan penggunaan serat baja dalam beton menurunkan nilai slump sebesar 28–42% dari beton referensi. Berat isi untuk beton K-200 memberikan berat isi antara 2,210–2,226 t/m³ dari berat isi rencana (2,380 t/m³) lebih kecil antara 6,47–7,14%. Beton referensi (tanpa serat) sebesar 2,210 t/m³, lebih kecil dari beton rencana 7,14%.

2. Pengaruh Rasio L/D pada Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur

Rata-rata kuat tekan beton tanpa serat (beton referensi) sebesar 17,316 MPa lebih besar 2,5% dibandingkan rencana

untuk beton K-200, dengan merujuk **Error! Reference source not found.** Umumnya penambahan serat baja (kawat bendrat) 2% dalam berat volume yang menggunakan variasi L/D meningkatkan kekuatan tekan antara 16,2–35,9% dibandingkan dengan rencana 16,9 MPa dan antara 13,4–32,7% dibandingkan beton referensi. Peningkatan kekuatan tekan maksimal terjadi pada beton K-200 dengan 2% serat dalam berat volume campuran pada variasi rasio L/D 75 memberikan nilai kuat tekan sebesar 35,9% lebih besar dibandingkan kuat tekan rencana dan 32,7% dibandingkan dengan beton referensi.

Persamaan polinomial order-2, hasil *trendline* menggunakan MS-Excel menunjukkan nilai kuat tekan optimum pada rasio L/D 70 dinyatakan dengan Pers. 6. Nilai kuat tekan optimum sesuai Pers. 6 didapatkan untuk rasio L/D 70 sebesar 22,705 MPa atau 34,35% lebih besar dari rencana untuk beton K-200 dan 31,12% dari beton tanpa serat (beton referensi).

Menggunakan Pers. 6, dengan rasio L/D 75 didapatkan kuat tekan sebesar 22,475 MPa dan rasio L/D 70 sebesar 22,705 MPa. Nilai modulus elastisitas beton menggunakan Persamaan, $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ (SNI 2847:2019) untuk beton dengan serat kawat baja 2% berat volume, pada rasio L/D 75 memberikan nilai $E_c = 22.281$ MPa dan pada rasio L/D 70 nilai modulus elastisitas beton sebesar 22.395 MPa.

Kekuatan tarik belah beton rata-rata, f_{cs} dalam **Error! Reference source**

not found., memberikan kuat tarik belah beton referensi sebesar 2,317 MPa dan beton dengan variasi rasio L/D antara 2,600–3,236 MPa. Menggunakan Pers. 5, untuk kuat beton K-200, nilai kuat tarik belah rencana, $f_{cs} = 2,251$ MPa dan beton referensi lebih besar 2,9% dari rencana. Kuat tarik belah beton menggunakan serat 2% pada rasio L/D 75 naik sebesar 43,5% dari rencana atau lebih 39,7% dari beton referensi.

Persamaan polinomial order-2, hasil *trendline* menggunakan MS-Excel, menunjukkan nilai kuat tarik belah optimum dicapai pada rasio L/D 75 sesuai Pers. 7 sebesar 3,0658 MPa, atau 36,2% lebih besar dari rencana (2,251 MPa) dan 32,32% dari beton tanpa serat atau beton referensi (2,317 MPa).

Kenaikan rasio serat setelah L/D 75 akan menurunkan kuat tarik belah. Semakin besar rasio L/D maka kuat tarik belah beton serat menggunakan kawat bendrat akan semakin turun, karena kandungan serat dalam campuran beton segar sulit dicampur. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa serat lebih dari 60 mm (rasio L/D ± 60) akan menurunkan kuat tekan (Juwarnoko, 2019; Sugiarto, 2017).

Kekuatan tarik lentur beton rata-rata, f_{cf} didapatkan dari Tabel 3 untuk beton referensi sebesar 3,125 MPa dan beton dengan variasi rasio L/D antara 2,520–4,070 MPa. Menggunakan Pers. 1, untuk kuat beton 16,9 MPa, didapatkan nilai kuat lentur rencana, $f_{cf} = 3,083$ MPa. Kuat lentur rata-rata beton referensi lebih besar 1,97%

dari rencana, sedangkan kuat lentur beton dengan variasi rasio L/D memberikan kuat lentur terbesar pada rasio L/D 75 rata-rata sebesar 3,967 MPa naik sebesar 28,66% dari rencana atau 26,18% dari beton referensi. Nilai kuat lentur maksimum dari Tabel 3 sebesar 4,652 MPa untuk rasio L/D 75 dan nilai minimum sebesar 3,432 MPa. Kecenderungan nilai kuat lentur sesuai Tabel 3, dinyatakan dengan Pers. 8 hasil polinomial order-2, *trendline* menggunakan MS-Excel. Nilai rasio serat L/D optimum didapatkan pada L/D 72,5 ($\cong 75$) dengan kuat lentur sebesar 3,844 MPa lebih besar dari rencana sebesar 3,083 MPa atau 24,69%. Jika dibandingkan dengan beton referensi untuk kuat lentur 3,144 MPa, nilainya 22,27% lebih besar. Kenaikan rasio L/D lebih dari 75 menurunkan kuat lentur beton serat.

$$f'_c = -81 \cdot 10^{-4} \left(\frac{L}{D}\right)^2 + 1,1284 \left(\frac{L}{D}\right) - 16,593 \quad (6)$$

$$f_{cs} = -8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{L}{D}\right)^2 + 0,1269 \left(\frac{L}{D}\right) - 1,9517 \quad (7)$$

$$f_{cf} = -9 \cdot 10^{-4} \left(\frac{L}{D}\right)^2 + 0,1287 \left(\frac{L}{D}\right) - 0,7558 \quad (8)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan beton hasil uji silinder pada umur 28 hari (MPa),

f_{cs} = kuat tarik belah beton hasil uji silinder pada umur 28 hari (MPa),

f_{cf} = nilai kuat lentur beton hasil uji silinder pada umur 28 hari (MPa),

L = Panjang serat yang digunakan dalam campuran beton (mm),
 D = Diameter serat yang digunakan dalam campuran beton (mm).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan rasio L/D menyebabkan nilai slump menurun 55–65 mm atau nilai slump menurun sebesar 28–42% dari beton referensi yang sesuai dengan (ACI 544.5R, 2010), nilai slump dibandingkan dengan campuran non-serat menurun dalam kisaran 25–102 mm. Berat isi beton tanpa serat atau beton referensi tidak berbeda, karena penambahan volume serat dalam campuran beton relatif kecil dibandingkan berat volume campuran, dapat dinyatakan bahwa rasio L/D tidak berpengaruh terhadap berat isi beton.

Kuat tekan, kuat tarik belah dan lentur beton serat dengan 2% berat volume dalam campuran menunjukkan rasio L/D untuk beton serat baja (kawat bendrat) pada rasio L/D $\pm 75,0$ masih dapat memberikan nilai optimum. Peningkatan volume serat, meningkatkan secara linear kekuatan tekan, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur beton sesuai (ACI 544.5R, 2010).

Rasio L/D 75,0 untuk kawat bendrat dengan diameter 0,8 mm, didapatkan panjang 60 mm, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya, bahwa panjang 60 mm meningkatkan kuat tekan sebesar 20,32% (Juwarnoko, 2019); 11,35% (Sugiarto, 2017); 31,81% (Uluhiyah, 2018); dan 41,14 (Prayitno et al., 2016). Hasil penelitian ini memberikan nilai

kenaikan antara 13,4–32,7%, dengan prosentase kenaikan rata-rata 22% lebih besar dari hasil penelitian (Juwarnoko, 2019; Sugiarto, 2017) dan lebih kecil dari hasil (Prayitno et al., 2016; Uluhyah, 2018).

Kuat tarik belah naik sebesar 39,7% terhadap beton referensi dan 43,8% terhadap rencana, hasil ini lebih kecil dibandingkan (Hafiz S.G et al., 2015) dengan kenaikan sampai 2 kalinya. Hasil uji kuat tarik belah untuk beton dengan variasi serat rata-rata mengalami kenaikan 23,7% terhadap beton referensi yang nilainya lebih kecil dibandingkan hasil uji kuat tarik belah (Juanita & Putra, 2021) yaitu naik 39,92%. Rasio L/D serat beton yang lebih besar akan menurunkan kuat tekan (Juwarnoko, 2019; Sugiarto, 2017) yang sejalan dengan hasil penelitian ini. Rasio tipikal berkisar 30–150 dari sekitar 30 masih dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton (Wafa, 1990), sesuai rekomendasi (ACI 544.5R, 2010) rasio L/D 30–150 atau panjang berkisar dari 6,4 hingga 76 mm untuk serat diameter 0,8 mm, dengan hasil yang didapatkan rasio L/D 75,0 menghasilkan kuat tekan, kuat tarik belah dan lentur beton serat dengan 2% berat volume dalam campuran yang maksimum.

SIMPULAN

Taraf nyata, $\alpha = 0,05$ dengan uji-T menunjukkan perbedaan karakteristik antara beton yang menggunakan serat kawat baja (bendrat) dengan proporsi 2% berat volume campuran dan variasi rasio L/D. Bahan penyusun beton yang

digunakan dalam pencampuran bahan memenuhi SNI dan gradasi agregat campuran memenuhi syarat ACI 544.5R. Hasil pengujian berat isi tidak ada perbedaan yang signifikan antara beton referensi dengan yang menggunakan variasi rasio L/D. Semakin besar rasio L/D nilai slump menurun. Nilai maksimum L/D 75 dihasilkan untuk kekuatan tekan, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari laporan penelitian yang dilaksanakan dengan dibiayai oleh Dana BLU POK Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, Berdasarkan Surat Keputusan Pejabat Pembuat Komitmen Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta No. 291/UN39/PT.01.02/2021, Tanggal: 15 April 2021, dan Surat Perjanjian Penugasan Dekan Fakultas Teknik Nomor: 068a/5.FT/PP/IV/2021, Tanggal: 26 April 2021, Tahun Anggaran 2021. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada laboran, mahasiswa dan tenaga pelaksana yang telah membantu di laboratorium selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 544.5R., 2010, *Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete*. American Concrete Institute (ACI) Committee 544, Farmington Hill, MI, American Concrete Institute

- Foermansah, R., 2013, *Tinjauan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Serat Kawat Bendrat Berbentuk 'W' Sebagai Bahan Tambah*, (Naskah Publikasi) Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Hafiz S.G.A., Rommel, E., & Prasetyo, L., 2015, *Pengaruh Pemberian Jumlah dan Rasio (L/D) Serat Bendrat Terhadap Sifat Mekanik Beton*, Jurnal Media Teknik Sipil, vol. 13 No.1 pp.13-30, <https://doi.org/10.22219/jmts.v13i1.2538>
- Juanita, & Putra, D.R., 2021, *Pengaruh Penambahan Kawat Bendrat Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan*, Jurnal Handasah, vol. 1, no. 1, pp 20–23.
- Junus, N., 2017, *Efek Penambahan Serat Kawat Bendrat terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton yang Dirawat melalui Metode Wet and Dry Curing*, Jurnal Penelitian Enjiniring, vol. 21, no. 1, pp. 41–47. <https://doi.org/10.25042/jpe.052017.06>
- Juwarnoko, 2019, *Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton*, Skripsi S1, Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Negeri Semarang, Semarang
- Kawulusan, J.A., Manalip, H., & Dapas, S.O., 2019, *Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Serat Kawat Bendrat dengan Variasi Sudut Tekuk pada Kedua Ujungnya*, Jurnal Sipil Statik, vol. 7, no. 5, pp.513–526.
- Kurniawan, D., 2021, *Analisis Beton Serat dengan Kawat Bendrat dan Substitusi Agregat Kasar dengan Limbah Plastik*, Ensiklopedia of Journal, vol. 3, no. 2, pp.1–9
- Malino, L., Wallah, S.E., & Handono, B.D., 2019, *Pemeriksaan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat yang Ditekuk Dengan Variasi Sudut Berbeda*, Jurnal Sipil Statik, vol. 7, no. 6, pp.711–722
- Mulyono, T., 2015, *Teknologi Beton: dari Teori Ke Praktek*, Edited by Gina Bachtiar. Jakarta, LPP Press
- Mulyono, T., 2021, *Bahan Bangunan dan Konstruksi*. Yogyakarta, Stiletto Indie Book
- Nugraha, I.D., 2018, *Studi Karakteristik Beton Serat Kawat Bendrat*, Tugas Akhir Si Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Sulawesi Selatan.
- Pd T-14-2003, 2003, *Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*, Jakarta, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2016 Tentang *Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*, Jakartam JDIH Kementerian PUPR

- Prayitno, S., Supardi, & Asmara, D.A. Y., 2016, *Pengaruh Penambahan Serat Kawat Ikat (Bendrat) Pada Kuat Tekan Dan Lentur Beton Bertulang Dengan Abu Sekam Padi Dan Accelerator*, E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, vol. September, pp,899–908.
- SNI 2491, 2014, *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C496/C496M-04, IDT)*. Jakarta: BSN.
- Sugiarto, D., 2017, *Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Terhadap Kuat Tekan Beton*, Laporan Tugas Akhir Tingkat Sarjana (S I) Fakultas Teknik Sipil Universitas Semarang, Semarang.
- Uluhiyah, A., 2018, *Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Dan Penambahan Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton*, Artikel Ilmiah S-1 Jurusan Teknik Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram
- Wafa, F.F., 1990, *Properties and Applications of Fiber Reinforced Concrete*. JKAU: Eng. Sci, vol. 2, pp. 49–63