

# PEMERIKSAAN KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK LENTUR BETON SERAT KAWAT BENDRAT YANG DITEKUK DENGAN VARIASI SUDUT BERBEDA

Leonardus Malino

Steenie E. Wallah, Banu Dwi Handono

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: [Leomalino77@gmail.com](mailto:Leomalino77@gmail.com)

## ABSTRAK

Beton merupakan bahan konstruksi yang sering dijumpai pada struktur bangunan. Beton mempunyai kelemahan yaitu mempunyai kuat tarik yang rendah dan bersifat getas. Beberapa peneliti telah melakukan eksperimen dengan menambahkan bahan tambah yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada adukan beton. Salah satu alternatif bahan tambah yang digunakan untuk penelitian ini yang bersifat fisikal adalah Kawat Bendrat. Kawat Bendrat merupakan material terpilih karena disamping mempunyai faktor penguat beton, kawat bendrat juga merupakan bahan yang ekonomis dan mudah diperoleh.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan kawat bendrat yang kedua ujungnya ditekuk dengan variasi sudut berbeda terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur. Panjang Kawat Bendrat yang digunakan adalah 60 mm dan diameter 1 mm. Persentase penambahan serat kawat bendrat kedalam campuran beton adalah 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% dan 1.00% terhadap berat benda uji dengan 3 variasi sudut berbeda (kawat lurus, ditekuk 45°, ditekuk 90°).

Dari hasil penelitian, nilai kuat tekan beton dan kuat tarik lentur terbesar didapat pada variasi tekuk dan persentase yang sama yaitu pada variasi tekuk 45° persentase penambahan kawat bendrat 0.50%. Nilai kuat tekan beton sebesar 28.573 MPa atau mengalami kenaikan kekuatan 2,62% dari beton tanpa tambahan kawat bendrat dan nilai kuat tarik lentur beton sebesar 8,173 MPa atau mengalami kenaikan kekuatan 16.974% dari beton tanpa tambahan kawat bendrat.

**Kata Kunci:** Bahan Tambah, Kawat Bendrat, Kuat Tekan, Kuat Tarik Lentur

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Hampir semua struktur bangunan di Indonesia maupun di mancanegara menggunakan beton sebagai bahan utama konstruksi. Beton sangat diminati karena bahan ini merupakan bahan konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan antara lain, mudah dikerjakan dengan cara mencampur semen, agregat, air, dan bahan tambahan lain bila diperlukan dengan perbandingan tertentu.

Kelebihan beton yang lain adalah, ekonomis (dalam pembuatannya menggunakan bahan dasar lokal yang mudah diperoleh), dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki, mampu menerima kuat tekan dengan baik, tahan aus, rapat air, awet dan mudah perawatannya, maka beton sangat populer dipakai baik untuk struktur-struktur besar maupun kecil. Untuk itu bahan konstruksi ini dianggap sangat penting untuk terus dikembangkan.

Salah satu usaha pengembangannya ialah dengan cara memperbaiki sifat dari kelemahan

beton yaitu tidak mampu menahan gaya tarik, dimana nilai kuat tarik beton berkisar 9% -15 % dari kuat desaknya (Dipohusodo, 1994).

Beton mempunyai kelemahan yaitu mempunyai kuat tarik yang rendah dan bersifat getas (brittle) sehingga pemakaiannya terbatas. Para peneliti dari Negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Inggris telah melakukan beberapa eksperimen dengan menambahkan bahan tambah yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada adukan beton.

Salah satu alternatif bahan tambah yang digunakan yang bersifat fisikal adalah serat baja (steel fibers). Ide dasarnya yaitu menambahkan serat baja yang disebarkan secara merata (uniform) kedalam adukan beton dengan orientasi random. Sehingga beton tidak mengalami retakan-retakan yang terlalu dini akibat pembebanan maupun panas hidrasi (Sorousihan dan Bayasi, 1987).

Jenis serat baja lebih banyak digunakan diluar negeri karena memiliki sifat-sifat penguat beton seperti kuat tarik yang tinggi, elastis dan

lekatan yang cukup. Pemakaian serat baja sebagai bahan campuran pada adukan beton untuk struktur bangunan belum banyak dikenal dan jarang digunakan di Indonesia. Hal tersebut disebabkan karena serat baja yang dimaksud sulit didapatkan karena keberadaannya harus mendatangkan dulu dari luar negeri, sehingga sangat tidak ekonomis. Untuk mengatasi masalah tersebut beberapa peneliti terdahulu telah mencoba menggunakan bahan lokal yang banyak tersedia di pasaran dengan harga yang lebih murah, yaitu serat kawat bendrat. Kawat bendrat merupakan material terpilih karena disamping mempunyai faktor – faktor prinsip penguat beton, kawat bendrat juga merupakan bahan yang ekonomis dan mudah diperoleh.

### Penelitian Terdahulu

Pada penelitian Zhafira (2017), campuran beton diberi bahan tambah serat bendrat berkait. Penambahan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh serat bendrat berkait terhadap kuat tekan, tarik belah, dan kuat lentur pada beton mutu normal dengan variasi kadar serat 0%, 0,75%, 1% dan 1,25% dengan panjang serat 60 mm dan diameter 1 mm. Benda uji kuat tekan dan tarik belah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm berjumlah 24 buah dan benda uji kuat lentur berupa balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm sebanyak 12 buah. Peningkatan optimum terjadi pada variasi kadar serat 0,75% dengan hasil berturut-turut sebesar 35,9336 MPa, 3,9848 Mpa, dan 8,9380 MPa.

Penelitian Leksono, Suhendro dan Sulisty (1995) tentang beton serat yang menggunakan kawat bendrat berbentuk lurus dan berkait ke dalam campuran beton. Kemudian beton diuji kuat desak, kuat lentur, kuat tarik dan pengujian balok beton. Kawat bendrat diameter  $\pm 1$  mm dipotong dengan ujungnya berkait (*hooked fiber*) dan panjang 60 mm, fas 0,55 dan volume *fiber* kawat (*vf*) 0,7% volume adukan. Dengan berat jenis kawat bendrat 6,68 gr/cm<sup>3</sup>, maka berat yang harus ditambahkan ke dalam 1 m<sup>3</sup> adukan beton (dibulatkan) 50 kg. Untuk balok beton bertulang dengan ukuran 15 x 25 x 180 cm dengan kandungan fiber 0,25 ; 0,5 ; 0,75 dan 1,00%.

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan menambahkan *fiber* sebanyak 0,75 sampai dengan 1% dari volume beton dengan menggunakan aspect ratio sekitar 60 – 70 akan memberikan hasil yang optimal. Penambahan *hooked fiber* ke dalam adukan beton dapat menurunkan kelecakan adukan beton sehingga beton menjadi sulit dikerjakan. Kuat tarik, kuat desak dan kuat lentur

meningkat setelah diberi *hooked fiber*. Untuk kandungan fiber yang optimal 0,75.

Prijantoro (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan kombinasi kawat bendrat dan dramix 3D terhadap perilaku mekanis beton, yaitu kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Variasi Penambahan serat 0% bendrat 1% dramix 3D, 1% bendrat 0% dramix 3D, 0.25% bendrat 0.75% dramix 3D, 0,75% bendrat 0.25% dramix 3D, 0.5% bendrat dari berat agregat kasar. Hasil penelitian menunjukkan presentase tertinggi kuat tarik beton serat terhadap beton non serat terdapat pada kombinasi campuran 0.75% bendrat 0.25% dramix 3D dengan presentase peningkatan sebesar 10.17% dengan nilai kuat tarik belah  $F_{sp} = 3.15$  MPa. Presentase tertinggi kuat tekan beton serat terhadap beton non serat terdapat pada kombinasi campuran 0.5% bendrat dan 0.5% dramix 3D dengan presentase peningkatan sebesar 14.59% dengan nilai kuat tekan  $f_c = 28.52$  MPa.

### Rumusan Masalah

Dari uraian di atas, dapat dirumuskan sebuah permasalahan sebagai berikut:

“Bagaimana pengaruh nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur beton serat kawat bendrat yang ditekuk dengan variasi sudut berbeda?”

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur beton serat kawat bendrat yang ditekuk dengan variasi sudut berbeda.
2. Untuk mengetahui persentase kenaikan optimal penambahan serat kawat bendrat yang kedua ujungnya ditekuk dengan variasi sudut berbeda terhadap nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur.

### Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai bahan referensi tentang nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur beton serat kawat bendrat yang ditekuk dengan variasi sudut berbeda.

## LANDASAN TEORI

### Beton Serat

Menurut ACI Committee 544 (1993) beton berserat adalah material komposit yang terbuat dari bahan semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar, serta serat dengan proporsi tertentu yang

tersebar secara acak untuk mencegah terjadinya retak-retak beton di daerah tarik yang terlalu dini akibat pembebanan (Soroushin & Bayasi, 1987). Sifat-sifat mekanika beton serat dipengaruhi oleh jenis serat, aspek rasio serat (*fiber aspect ratio*), volume *fraction* serat, kekuatan beton, geometri dan pembuatan benda uji serta agregat. Aspek rasio (l/d) yaitu rasio antara panjang serat (l) dan diameter serat (d). Sedangkan volume fraction yaitu persentase volume serat yang ditambahkan pada setiap satuan volume adukan.

Perbaikan yang dialami beton dengan adanya penambahan serat antara lain, yaitu:

1. Daktilitas meningkat  
Penambahan serat kedalam adukan beton dapat mengatasi masalah beton yang bersifat getas (*brittle*) menjadi lebih daktail. Energi yang diserap oleh beton serat untuk mencapai keruntuhan lebih besar dibandingkan dengan energi yang diserap untuk mencapai keruntuhan lebih besar dibandingkan dengan energi yang diserap oleh beton biasa, baik akibat beban tekan maupun akibat beban lentur.
2. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*) meningkat  
Beton normal sangat lemah dalam menerima beban kejut. Penambahan serat ke dalam adukan beton dapat meningkatkan ketahanan kejut beton dengan baik.
3. Kekuatan lentur dan tarik meningkat  
Salah satu kelemahan beton yang paling besar adalah kekuatan untuk menahan gaya tarik dan lentur. Sifat kuat tarik lentur yang rendah pada beton dapat diperbaiki dengan penambahan serat kedalam adukan beton.
4. Penyusutan berkurang  
Keretakan pada beton dapat juga terjadi akibat penahanan terhadap penyusutan bebas yang disebabkan oleh kontinuitas struktur, baja tulangan dan gradien kebasahan dalam beton. Dengan adanya serat dalam beton dapat mengurangi penyusutan dan membatasi retak-retak penyusutan.

Selain akan terjadinya korosi pada serat jika tidak terlindung dengan beton, *terjadinya balling effect* (efek bola) juga menjadi masalah pada campuran beton serat. *Balling effect* (efek bola) merupakan peristiwa menggumpalnya serat fiber pada saat pencampuran berbentuk seperti bola dan tidak menyebar secara merata sehingga perlu diusahakan penyebaran serat *fiber* secara merata pada adukan beton.

Mekanisme kerja serat bersama pasta beton akan membentuk matriks komposit. Pada saat

beton diberi beban, beton akan mengalami retak pertama kemudian semakin banyak retak halus yang akan terlihat. Pada saat diberi beban tersebut kekuatan beton akan dialihkan keserat karena serat dianggap sebagai tulangan tambahan sehingga serat akan menahan beban yang ada sesuai dengan modulus elastisitasnya. Pasta beton akan semakin kokoh/stabil dalam menahan beban karena aksi serat yang sangat mengikat disekelilingnya.

Teori yang digunakan sebagai pendekatan untuk menjelaskan mekanisme kerja serat yaitu sebagai berikut:

- a. *Spacing Concept* diartikan dengan mendekati jarak antara serat dalam campuran beton sehingga beton lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah terjadinya retakan yang lebih besar.
- b. *Composite Material Concept* merupakan salah satu pendekatan yang memperkirakan kuat tarik maupun kuat lentur dari beton serat. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama.

#### Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat benda uji beton terhadap volume beton tersebut seperti pada persamaan berikut:

$$D = \frac{W}{V} \quad (1)$$

dimana:

D = Berat Volume Beton [kg/m<sup>3</sup>]

W = Berat Benda Uji [kg]

V = Volume Beton [m<sup>3</sup>]

#### Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Dalam pengujian kuat tekan beton, benda uji dapat berupa kubus dan silinder.

Rumus kuat tekan dicari dengan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Dimana:

f<sub>c</sub> = Kuat tekan (Mpa)

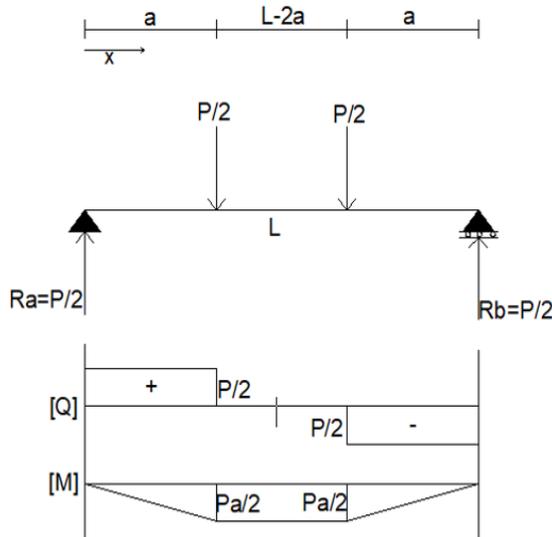
P = Beban Maksimum (KN)

A = Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

#### Kuat Tarik Lentur Beton

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok yang diletakan pada kedua perletakan untuk

menahan gaya tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (SNI 4431:2011). Pengujian kuat lentur menggunakan benda uji balok tanpa tulangan.



Gambar 1. Model Pembebanan Tarik Lentur

Didalam SNI 4431-2011, Pembebanan dilakukan 1/3 bentang untuk mendapatkan lentur murni. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah). maka kuat lentur dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (3)$$

dimana:

- $\sigma_1$  = Kuat Lentur (MPa)
- P = Beban Maksimum (N)
- L = Panjang bentang pengujian (mm)
- b = lebar benda uji (mm)
- h = tinggi benda uji (mm)
- a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat (mm).

Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada diluar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan berikut:

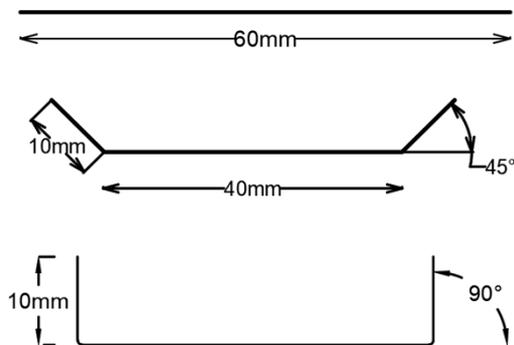
$$\sigma_1 = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \quad (4)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### Tahap dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pekerjaan, yaitu persiapan bahan, pemeriksaan bahan (agregat kasar, agregat halus, semen dan kawat bendrat), perencanaan campuran beton menggunakan perencanaan campuran beton metode ACI 211.1-91 dilanjutkan dengan pembuatan benda uji, curing, pengujian benda uji dan dilakukan pengamatan terhadap pola penyebaran kawat bendrat didalam beton. Semua pekerjaan dilakukan berpedoman pada peraturan/standar yang berlaku dengan penyesuaian terhadap kondisi dan fasilitas laboratorium yang ada.

Material yang digunakan adalah agregat kasar/batu pecah dari Lansot, Agregat Halus/pasir dari Girian, Semen Tonasa, Air yang digunakan berasal dari sumur bor Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado dan kawat bendrat sebagai bahan tambah. Ukuran dan bentuk tekuk kawat bendrat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



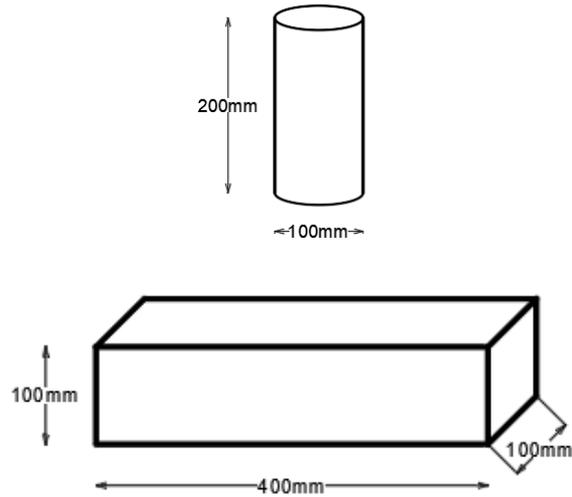
Gambar 2. Kawat Bendrat Lurus, Ditekuk 45° dan Ditekuk 90°

Pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus dilakukan sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh ASTM dan SNI. Tahap selanjutnya setelah dilakukan pemeriksaan agregat yaitu perencanaan campuran beton menggunakan metode ACI 211.1-91. Nilai slump rencana 75-100 mm dan mutu beton rencana 25 MPa. Untuk mendapatkan perencanaan campuran beton sesuai dengan yang direncanakan yaitu nilai slump rencana 75-100mm dan mutu beton rencana 25 MPa, maka dibuatlah *Trial Mix Design* beton normal (tanpa tambahan kawat bendrat). Setelah perencanaan campuran beton dari hasil *Trial Mix Design* telah didapat, selanjutnya dilanjutkan dengan pekerjaan

campuran beton dengan tambahan kawat bendrat. Persentase penambahan serat kawat bendrat kedalam campuran adukan adukan beton adalah 0% (tanpa tambahan kawat), 0.25%, 0.50%, 0.75% dan 1% terhadap berat total benda uji.

**Dimensi Benda Uji**

Dimensi benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder dengan tinggi 200 mm dan diameter 100 mm sedangkan dimensi benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tarik lentur berbentuk balok ukuran 100 x 100 x 400mm. (Gambar 3)



Gambar 3. Dimensi Benda Uji

Tabel 1. Kode dan Jumlah Benda Uji

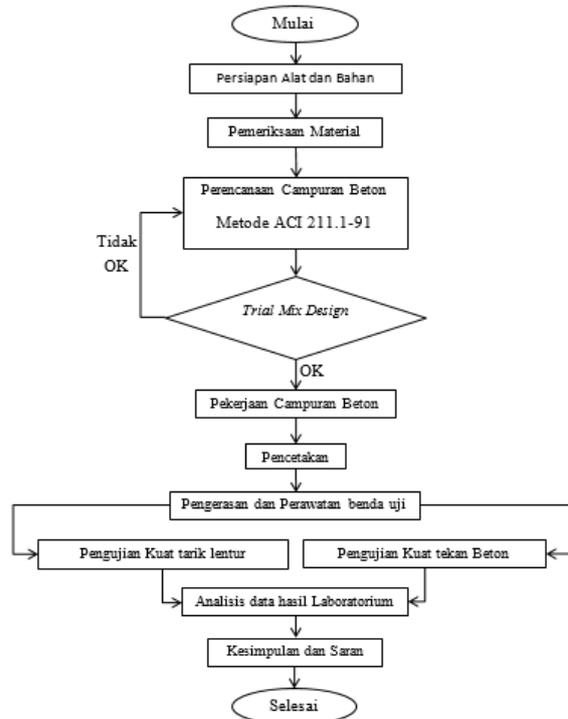
Tambahan Serat kawat bendrat	Persentase kawat	Kode Benda uji Silinder	Kode Benda uji Balok	Jumlah
Tanpa Kawat	-	S1a	B1a	6
		S1b	B1b	
		S1c	B1c	
Kawat Bendrat Lurus	0.25%	S8a	B8a	6
		S8b	B8b	
		S8c	B8c	
	0.50%	S2a	B2a	6
		S2b	B2b	
		S2c	B2c	
	0.75%	S9a	B9a	6
		S9b	B9b	
		S9c	B9c	
	1%	S3a	B3a	6
		S3b	B3b	
		S3c	B3c	
Ditekuk 45°	0.25%	S10a	B10a	6
		S10b	B10b	
		S10c	B10c	
	0.50%	S4a	B4a	6
		S4b	B4b	
		S4c	B4c	
	0.75%	S11a	B11a	6
		S11b	B11b	
		S11c	B11c	
	1%	S5a	B5a	6
		S5b	B5b	
		S5c	B5c	
Ditekuk 90°	0.25%	S12a	B12a	6
		S12b	B12b	
		S12c	B12c	
	0.50%	S6a	B6a	6
		S6b	B6b	
		S6c	B6c	
	0.75%	S13a	B13a	6
		S13b	B13b	
		S13c	B13c	
	1%	S7a	B7a	6
		S7b	B7b	
		S7c	B7c	
<b>Total</b>				<b>78</b>

Sumber: Hasil Olahan

Jumlah benda uji berdasarkan variasi penambahan dan tekukan pada serat kawat bendrat dimana setiap setiap pengujian diambil 3 sampel benda uji sehingga total benda uji untuk pengujian kuat tekan beton berjumlah 39 benda uji silinder dan total benda uji untuk pengujian kuat tarik lentur beton berjumlah 39 benda uji balok. Total keseluruhan benda uji adalah 78 benda uji.

**Diagram Alir Penelitian**

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. Diagram alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material harus dilakukan untuk mengetahui karakteristik material yang akan digunakan. Berdasarkan hasil pemeriksaan material di Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, maka diperoleh data pemeriksaan material yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- **Agregat Halus (Pasir)**
  - Ukuran Maksimum : 4.75 mm
  - Apparent specific gravity : 2.67
  - Bulk specific gravity (dry) : 2.04
  - Bulk specific gravity (SSD) : 2.27
  - Absorpsi : 11.68 %
  - Kadar Air : 16.171
  - Berat Volum (padat) : 1.297 gr/cm<sup>3</sup>
  - Berat Volum (gembur) : 1.214 gr/cm<sup>3</sup>
  - Modulus Kehalusan : 3.193
  - Kadar Lumpur : 1.133 %
  - Persentase Endapan lumpur : 3.077 %
- **Agregat Kasar (Batu Pecah)**
  - Ukuran Maksimum : 19 mm
  - Apparent specific gravity : 2.72
  - Bulk specific gravity (dry) : 2.63
  - Bulk specific gravity (SSD) : 2.67
  - Absorpsi : 1.21 %
  - Kadar Air : 1.354 %
  - Berat Volum(gembur) : 1.214 gr/cm<sup>3</sup>
  - Berat Volum (padat) : 1.5755 gr/cm<sup>3</sup>
  - Modulus Kehalusan : 6.032
  - Keausan : 15.062 %
- **Semen**
  - Merek : Tonasa
  - Tipe Standar : I
  - Berat Jenis : 3.150 gr/cm<sup>3</sup>
- **Air**
  - Sumber air adalah dari sumur bor Fakultas Teknik UNSRAT
- **Kawat Bendrat**
  - Diamater : 1 mm
  - Panjang sebelum ditekuk : 60 mm

### Perencanaan Komposisi Campuran Beton

Berdasarkan nilai-nilai yang didapat dari pemeriksaan material maka menurut perencanaan campuran beton metode ACI 211.1 - 91 yang dimodifikasi dengan langkah-langkah perhitungan perencanaan yaitu menentukan mutu beton rencana 25 MPa, nilai w/c (FAS) 0.54, nilai FAS ditentukan dari hasil beberapa kali trial mix dan Nilai Slump rencana 75 - 100 mm.

Perhitungan komposisi campuran beton per m<sup>3</sup> yaitu semen 379.63 kg, air 174.14 kg, agregat kasar 870.225 kg dan agregat halus 776.496,5. Persentase Kawat Bendrat sebagai bahan tambah diambil dari berat total komposisi campuran beton per m<sup>3</sup>.

### Pemeriksaan Nilai Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton (*workability*). Nilai slump merupakan nilai perbedaaan tinggi dari adukan dalam suatu cetakan berbentuk kerucut terpancung dengan tinggi adukan setelah cetakan diambil. Dalam penelitian, nilai slump diambil berkisar antara 75 – 100 mm. Nilai slump pada saat pengecoran dapat dilihat pada tabel 2. berikut:

Tabel 2. Nilai Slump Test

Tambahan Serat kawat bendrat	Persentase kawat	Nilai Slump (mm)
Tanpa Kawat	0%	78
Kawat Lurus	0.25%	87
	0.50%	77
	0.75%	76
	1%	80
Kawat ditekuk 45°	0.25%	80
	0.50%	77
	0.75%	82
	1%	82
Kawat ditekuk 90°	0.25%	80
	0.50%	83
	0.75%	90
	1%	85

### Berat Volume Beton

Berat Volume beton adalah perbandingan antara berat beton (berat benda uji) dengan volume beton (volume benda uji). Dalam penelitian ini, berat volume beton diperoleh dari berat beton umur 1 hari di bagi dengan luas penampang beton. Hasil perhitungan berat volume beton dapat dilihat pada tabel 3. dibawah ini.

Tabel 3. Berat Volume rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat Lurus untuk Benda Uji Silinder

Persentase Kawat Bendrat (%)	Berat Volume (Kg/m <sup>3</sup> )
0,00%	2055,20
0,25%	2063,69
0,50%	2067,94
0,75%	2091,30
1,00%	2072,19

Sumber: Hasil olahan

Tabel 4. Berat Volume rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat untuk Benda Uji Silinder

Persentase Kawat Bendrat (%)	Berat Volume (Kg/m <sup>3</sup> )		
	Kawat lurus	Ditekuk 45°	Ditekuk 90°
0,00%	2055,20	2055,20	2055,20
0,25%	2063,69	2091,30	2079,19
0,50%	2067,94	2070,06	2057,32
0,75%	2091,30	2072,19	2093,42
1,00%	2072,19	2059,45	2059,45

Sumber: Hasil olahan

Tabel 5. Berat Volume rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat untuk Benda Uji Balok

Persentase Kawat Bendrat (%)	Berat Volume (Kg/m <sup>3</sup> )		
	Kawat lurus	Ditekuk 45°	Ditekuk 90°
0,00%	2068,33	2068,33	2068,33
0,25%	2063,33	2094,17	2090,83
0,50%	2085,83	2089,17	2065,00
0,75%	2100,83	2080,83	2095,83
1,00%	2069,17	2073,33	2083,33

Sumber: Hasil olahan

Berdasarkan hasil keseluruhan pemeriksaan berat volume beton, untuk benda uji silinder berat volume berkisar antara 2055.202 - 2093.418 kg/m<sup>3</sup> dan untuk benda uji balok berat volume berkisar antara 2063.333 - 2100.833 kg/m<sup>3</sup>. Maka, berat volume pada penelitian ini dapat dikategorikan sebagai beton berbobot normal.

Pada penelitian Leksono, Suhendro dan Sulisty (1995) berat jenis kawat bendrat adalah 6.68 g/cm<sup>3</sup>. Sehingga penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serat kawat bendrat kedalam campuran adukan beton tidak berpengaruh secara signifikan, dimana berat volume beton dengan tambahan kawat bendrat terbesar adalah beton serat persentase 0.75% variasi kawat ditekuk 90° pada benda uji silinder sebesar 2093.42 kg/m<sup>3</sup> atau mengalami kenaikan kekuatan hanya 1.86% dari beton tanpa tambahan kawat bendrat benda uji silinder.

Beberapa faktor penyebabnya ialah penyebaran kawat bendrat tidak dapat dipastikan merata ataupun pengaruh adanya void pada benda uji pada saat pencetakan.

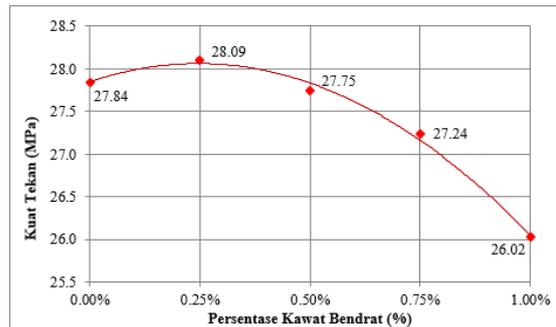
**Kuat Tekan Beton**

Nilai Kuat tekan beton pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel-tabel dan gambar-gambar berikut ini.

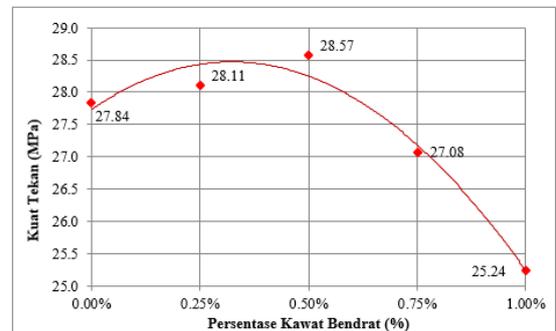
Tabel 6. Kuat Tekan rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat

Persentase Kawat Bendrat (%)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)		
	Kawat lurus	Ditekuk 45°	Ditekuk 90°
0,00%	27.84	27.84	27.84
0,25%	28.09	28.11	27.1
0,50%	27.75	28.57	27.76
0,75%	27.24	27.08	27.78
1,00%	26.02	25.24	23.89

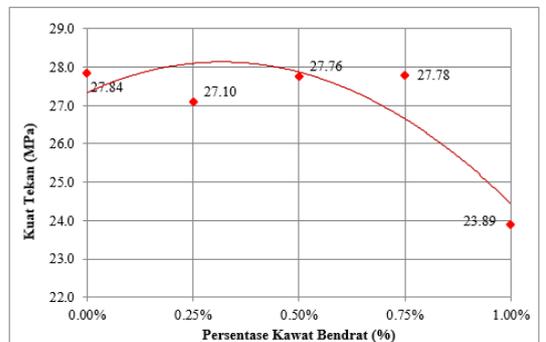
Sumber: Hasil olahan



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat Lurus



Gambar 6. Grafik Kuat Tekan rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat ditekuk 45°



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat ditekuk 90°

Dari pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder, penambahan kawat bendrat dengan variasi sudut berbeda berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton namun relatif kecil. Nilai kuat tekan terbesar didapat pada variasi tekuk 45° persentase tambahan kawat bendrat 0.50% sebesar 28.573 MPa atau mengalami kenaikan kekuatan 2.62% dari beton tanpa tambahan kawat bendrat.

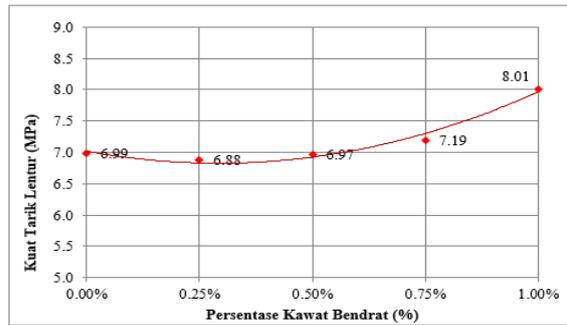
**Kuat Tarik Lentur Beton**

Pola retak pada pengujian kuat tarik lentur terdapat pada daerah pusat balok (lentur murni). Nilai kuat tarik lentur dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut ini.

Tabel 7. Kuat Tarik Lentur rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat

Persentase Kawat Bendrat (%)	Kuat tarik lentur rata-rata (MPa)		
	Kawat lurus	Ditekuk 45°	Ditekuk 90°
0,00%	6.99	6.99	6.99
0,25%	7.99	7.07	6.88
0,50%	6.93	8.17	6.97
0,75%	7.03	6.99	7.19
1,00%	6.97	6.89	8.01

Sumber: Hasil olahan



Gambar 10. Grafik Kuat Tarik Lentur rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat Ditekuk 90°

Dari hasil keseluruhan pengujian kuat tarik lentur beton pada benda uji balok. Penambahan kawat bendrat dengan variasi sudut berbeda berpengaruh terhadap nilai kuat tarik beton. Nilai kuat tarik lentur terbesar didapat pada variasi tekuk 45° persentase tambahan kawat bendrat 0.50% sebesar 8.17 MPa atau mengalami kenaikan kekuatan 16.97% dari beton tanpa tambahan kawat bendrat.

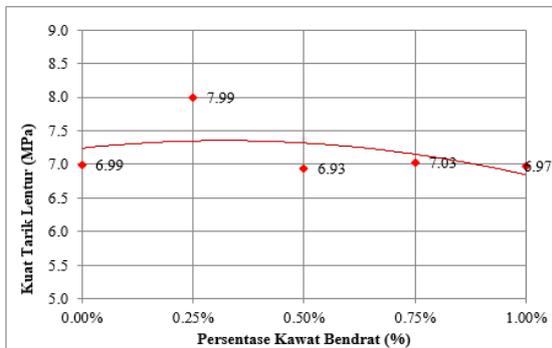
**Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton**

Hubungan kuat tekan dan kuat tarik lentur dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

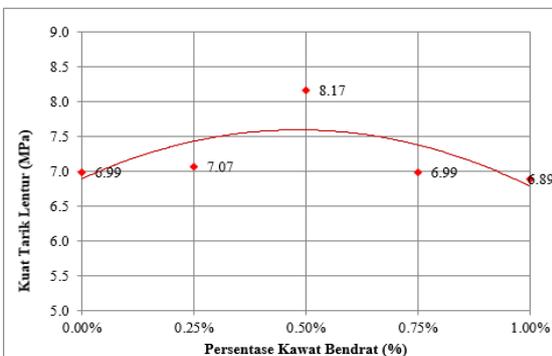
Tabel 8. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Lurus

Persentase Kawat Bendrat (%)	$f_c$ (MPa)	$f_r$ (MPa)	Perbandingan	
			$\sqrt{f_c}$	$f_r/\sqrt{f_c}$
0.00%	27.843	6.987	5.277	1.324
0.25%	28.093	7.987	5.300	1.507
0.50%	27.747	6.933	5.268	1.316
0.75%	27.240	7.027	5.219	1.346
1.00%	26.023	6.973	5.101	1.367

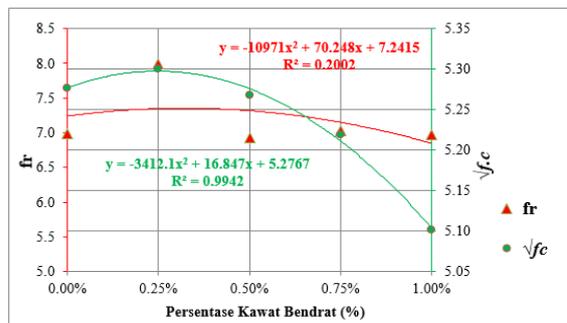
Sumber: Hasil olahan



Gambar 8. Grafik Kuat Tarik Lentur rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat Lurus



Gambar 9. Grafik Kuat Tarik Lentur rata-rata Beton Serat Kawat Bendrat Ditekuk 45°

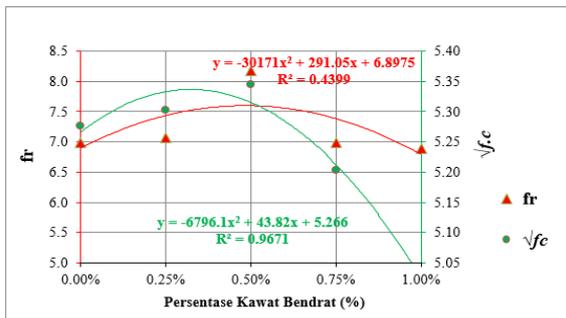


Gambar 11. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Lurus

Tabel 9. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Ditekuk 45°

Persentase Kawat Bendrat (%)	f <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>r</sub> (MPa)	Perbandingan	
			√f <sub>c</sub>	f <sub>r</sub> /√f <sub>c</sub>
0.00%	27.843	6.987	5.277	1.324
0.25%	28.107	7.067	5.302	1.333
0.50%	28.573	8.173	5.345	1.529
0.75%	27.077	6.987	5.204	1.343
1.00%	25.240	6.893	5.024	1.372

Sumber: Hasil olahan

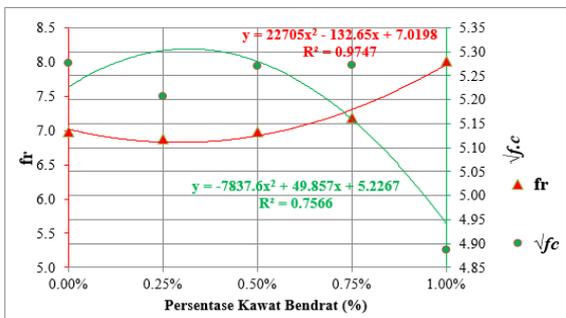


Gambar 12. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Ditekuk 45°

Tabel 10. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Ditekuk 90°

Persentase Kawat Bendrat (%)	f <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>r</sub> (MPa)	Perbandingan	
			√f <sub>c</sub>	f <sub>r</sub> /√f <sub>c</sub>
0.00%	27.843	6.987	5.277	1.324
0.25%	27.103	6.880	5.206	1.322
0.50%	27.760	6.973	5.269	1.324
0.75%	27.783	7.187	5.271	1.363
1.00%	23.890	8.013	4.888	1.639

Sumber: Hasil olahan



Gambar 13. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Ditekuk 90°

Secara keseluruhan, hubungan kuat tekan dan kuat tarik lentur beton, nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur terbesar pada variasi kawat bendrat ditekuk 45° persentase tambahan kawat bendrat 0.50%.

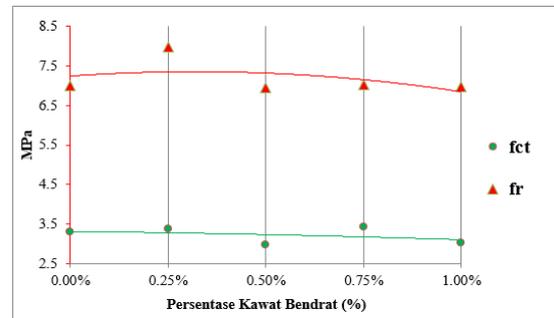
**Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton**

Data Kuat tarik belah yang dipakai pada penelitian ini merupakan data penelitian dari Kawulusan (2019) dengan judul Skripsi “Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Serat Kawat Bendrat dengan Variasi Sudut Tekuk pada Kedua Ujungnya”. Data Kuat tarik belah dari penelitian Kawulusan (2019) dipakai karena komposisi campuran beton yang digunakan seragam, dimana kesamaan dengan penelitian ini yaitu memiliki variasi tekuk, persentase tambahan kawat bendrat dan komposisi campuran yang sama. Perbandingan kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 11. Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Serat Kawat Bendrat Lurus

Persentase Kawat Bendrat (%)	f <sub>r</sub> (MPa)	f <sub>ct</sub> (MPa)
0.00%	6.987	3.313
0.25%	7.987	3.367
0.50%	6.933	2.973
0.75%	7.027	3.437
1.00%	6.973	3.017

Sumber: Hasil olahan

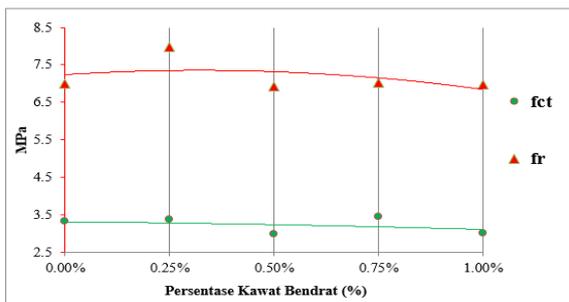


Gambar 14. Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Serat Kawat Bendrat Lurus

Tabel 12. Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Serat Kawat Bendrat Ditekuk 45°

Persentase Kawat Bendrat (%)	f <sub>r</sub> (MPa)	f <sub>ct</sub> (MPa)
0.00%	6.987	3.313
0.25%	7.067	3.140
0.50%	8.173	3.183
0.75%	6.987	3.323
1.00%	6.893	3.133

Sumber: Hasil olahan

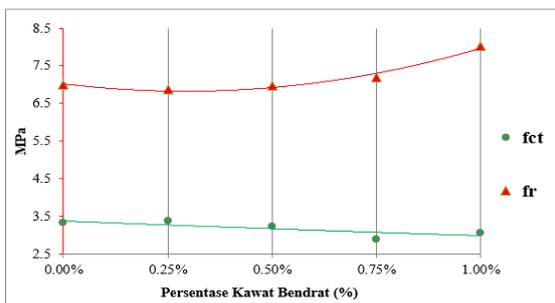


Gambar 15. Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Serat Kawat Bendrat Ditekuk 45°

Tabel 13. Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Serat Kawat Bendrat Ditekuk 90°

Persentase Kawat Bendrat (%)	fr (MPa)	fct (MPa)
0.00%	6.987	3.313
0.25%	6.880	3.363
0.50%	6.973	3.233
0.75%	7.187	2.883
1.00%	8.013	3.067

Sumber: Hasil olahan



Gambar 16. Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Serat Kawat Bendrat Ditekuk 90°

Secara keseluruhan perbandingan kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton, nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton terbesar tidak pada persentase tambahan kawat bendrat yang sama dimana kuat tarik belah beton terbesar pada variasi kawat bendrat lurus persentase tambahan 0.75% dan kuat tarik lentur terbesar pada variasi kawat bendrat ditekuk 45° persentase tambahan kawat bendrat 0.50%.

### Pola Penyebaran Kawat didalam Beton

Pola penyebaran kawat bendrat didalam beton pada persentase tambahan kawat bendrat 0.5% dan 1% dimana penyebaran kawat didalam beton dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ditandai dengan garis hitam disekeliling kawat

yang memudahkan untuk melihat letak kawat bendrat didalam beton.



Gambar 17. Penyebaran Kawat Pada Potongan Beton Benda Uji Balok persentase Tambahan Kawat Bendrat 0.5%



Gambar 18. Penyebaran Kawat Pada Potongan Beton Benda Uji Balok persentase Tambahan Kawat Bendrat 1%

Pada saat mencampur kawat bendrat kedalam adukan beton, penyebaran kawat bendrat dianggap merata dengan orientasi random sehingga tidak dapat dipastikan jika kawat bendrat tercampur merata. Oleh karena itu, beton yang telah diuji pada saat umur beton 28 hari dipotong menggunakan alat pemotong beton untuk mengetahui pola penyebaran kawat bendrat didalam beton. Dapat dilihat bahwa penyebaran kawat bendrat didalam beton tidak terlalu merata.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berat volume rata-rata benda uji silinder berkisar antara 2055.202 - 2093.418 kg/m<sup>3</sup> dan berat volume rata-rata benda uji balok berkisar antara 2063.333 - 2100.833 kg/m<sup>3</sup>. Berat volume dikategorikan sebagai beton berbobot normal.

2. Peningkatan persentase penambahan kawat bendrat kedalam campuran beton tidak terllu berpengaruh terhadap berat volume beton, akibat adanya gumpalan kawat bendrat sehingga terjadi void didalam beton.
3. Nilai kuat tekan beton dan kuat tarik lentur optimal didapat pada variasi tekuk dan persentase yang sama yaitu pada variasi tekuk 45° persentase tambahan kawat bendrat 0.50%.
4. Nilai kuat tekan sebesar 28.573 MPa atau mengalami kenaikan kekuatan 2.62% dari beton tanpa tambahan kawat bendrat. Penambahan serat kawat bendrat yang ditekuk berpengaruh terhadap nilai tekan beton namun relatif kecil.
5. Pola retak yang terjadi untuk semua benda uji balok adalah retak akibat lentur murni. Nilai kuat tarik lentur sebesar 8.173 MPa atau mengalami kenaikan kekuatan 16.974% dari beton tanpa tambahan kawat bendrat.

### Saran

Beberapa saran yang perlu disampaikan agar diperoleh hasil yang lebih baik dalam penelitian lebih lanjut yaitu:

1. Pada saat membuat campuran adukan beton, kawat bendrat harus dimasukkan secara perlahan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya gumpalan kawat yang berpengaruh terhadap berat volum dan kekuatan beton.
2. Benda uji pada saat proses pencetakan harus dibuat serata mungkin dan memperhatikan kawat bendrat dalam campuran adukan beton agar tidak ada kawat bendrat yang terlihat pada permukaan benda uji sehingga kawat bendrat terhindar dari proses korosi.
3. Sebaiknya komposisi campuran beton untuk dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*), sehingga pengaruh penambahan serat dalam campuran beton dapat dilihat dengan jelas terhadap nilai kuat tekan dan kuat tarik beton.

### DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211.1-91, 1991. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete---Procedure for Mix Design*, Unites States.
- ACI Committee 544, 1993. *Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concret*. United States.
- Ariatama, Ananta., 2007. *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi berdasarkan Optimasi Diameter Serat*. Master Thesis, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan*. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan dua titik pembebanan (4331-2011)*. Jakarta, Indonesia.
- Dipohusodo, Istimawan., 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama., Jakarta.
- Kawuluan, A. Julianda, H. Manalip, Servie O. Dapas., 2019. *Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Serat Kawat Bendrat dengan Variasi Sudut Tekuk pada Kedua Ujungnya*. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.5 Mei 2019 (513-526) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Leksono, B. T., Suhendro, B. dan Sulisty, P., 1995. *Pengaruh Fiber Bendrat Berkait secara Parsial pada Prilaku dan Kapasitas Balok Beton Bertulang dengan Model Skala Penuh*. BPPS-UGM, 8(3B), Agustus 1995. Yogyakarta.
- Prijantoro, P. E. Johannes., Steenie E. Wallah., Servie O. Dapas., 2018. *Perilaku Mekanis Beton Serat dengan Kombinasi Kawat Bendrat dan Dramix 3D*. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.12 Desember 2018 (1129-1128) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Soroushian, P., Bayasi Z., 1987, *Concept of Fiber Reinforced Concrete*, Proceeding of the International Seminar on Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, Michigan, USA.

Zhafira, Ulina Atika., 2017. *Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan, Kuat tarik belah dan Kuat Lentur pada campuran Beton dengan Penambahan Serat Kawat bendrat berkait*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.