

## KINERJA SERAT KAWAT BENDRAT SEBAGAI BAHAN TAMBAH BETON FAS 0.4

*Lantif Anggrahita Pratama<sup>1</sup>, Ahmad Hakam Rifqi Mundias<sup>2</sup>, Muhtarom Riyadi<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan  
Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

e-mail: ahrmundias111@gmail.com, lantifangga121@gmail.com, muhtard37@gmail.com

### ABSTRACT

*Concrete is the most important part of a construction building. The purpose of this study was to examine how the comparison of physical and mechanical properties and optimum levels of the addition of straight tie wire as an added material with a water-cement ratio of 0.4. The percentage of addition of straight tie wire: 0%, 0.5%, 0.75%, 1.0%, of the total weight of the specimen with a tie-wire length of 8 cm. The test specimens for compressive strength, modulus of elasticity, and split tensile are in the form of a cylinder with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, and the specimen for flexural strength is a block with a length of 50 cm, a width of 10 cm and a height of 10 cm. The results show that the maximum compressive strength test on tie wire occurred at a percentage of 0.75% of 16.56 MPa. The maximum modulus of elasticity in tie wire occurred at a percentage of 0.75% of 15184.56 MPa. The maximum split tensile strength of tie wire occurred in a percentage of 0.75% of 1.165 MPa, and the maximum flexural strength of tie wire occurs at a percentage of 0.75% of 1.950 MPa. The research results concluded that the addition of a straight tie-wire to the concrete mixture could increase the compressive strength, split tensile strength, tensile strength, and elastic modulus of concrete.*

**Keywords:** Compressive Strength; Tensile Strength; Flexural Strength; Modulus Elasticity

### ABSTRAK

*Beton adalah bagian terpenting dari suatu bangunan konstruksi. Tujuan dari penelitian ini untuk meneliti bagaimana perbandingan sifat fisik dan mekanik serta kadar optimum terhadap penambahan kawat bendrat berbentuk lurus sebagai bahan tambah dengan fas 0,4. Persentase penambahan kawat bendrat berbentuk lurus : 0%, 0,5%, 0,75%, 1,0%, dari berat total benda uji dengan panjang kawat bendrat sepanjang 8 cm. Benda uji kuat tekan, modulus elastisitas dan tarik belah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji kuat lentur berupa balok dengan panjang 50 cm, lebar 10 cm dan tinggi 10 cm. Hasil maksimum pengujian beton serat kawat bendrat terjadi pada presentase 0,75% dengan hasil kuat tekan sebesar 16,56 MPa, modulus elastisitas sebesar 15184,56 MPa, kuat tarik belah sebesar 1,165 MPa dan kuat lentur maksimal sebesar 1,950 MPa. Dengan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan kawat bendrat berbentuk lurus pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur serta modulus elastisitas beton.*

**Kata kunci:** Kawat Bendrat; Kuat Tarik Belah; Kuat Tarik Lentur; Kuat Tekan; Modulus Elastisitas

### PENDAHULUAN

Dengan seiring dengan perkembangan jaman, teknologi beton terus berkembang. Untuk mendapatkan kualitas beton yang lebih baik dari sebelumnya berbagai penelitian penambahan material serta kombinasi dari komposisi material beton dilakukan. Berbagai cara dilakukan

seperti penambahan *fly ash* untuk mengurangi jumlah semen dalam beton (Madi, Jandsem Heo 2018), berbagai penambahan bahan kimia untuk meningkatkan kekuatan beton, mempercepat peningkatan kekuatan beton, ataupun meningkatkan *workability* dari beton hingga penambahan serat baja dalam campuran beton.

Kelemahan kuat tarik beton mempengaruhi sifat mekanis lainnya seperti kuat lentur. Sedangkan dalam hal kuat tariknya material baja memiliki sifat yang baik. Untuk meningkatkan kuat tarik beton, kita bisa menggunakan baja sebagai salah satu bahan dalam campuran beton. Tidak hanya terbatas dalam kuat tarik saja, kuat lentur pun mengalami peningkatan kekuatan karena memiliki perilaku tarik saat menahan beban lentur.

Penelitian ini menggunakan kawat bendrat sebagai salah satu campuran untuk komposisi beton karena mudah didapatkan di Indonesia dan harganya relatif tidak mahal dibandingkan dengan jenis kawat baja lainnya, sehingga diharapkan hasil penelitian ini dapat diaplikasikan di lapangan. Literatur mengenai beton dengan serat kawat bendrat sudah cukup banyak dilakukan, dimana rata-rata memberikan hasil dengan peningkatan kekuatan beton, salah satunya dalam Jurnal Statik Sipil Leonardus (2019). Oleh karena itu, untuk memperkuat penelitian yang sudah dilakukan terhadap beton serat kawat bendrat, dalam penelitian ini akan dibahas sifat-sifat fisik dan mekanik beton dengan penambahan serat kawat bendrat, secara khusus akan dibahas tentang kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur dan modulus elastisitas beton dengan perbandingan kawat bendrat terhadap berat total benda uji.

Tujuan dari penelitian ini adalah yang pertama untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik beton serta untuk mendapatkan kadar optimum prosentase kawat bendrat sebagai bahan tambah pada campuran beton terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur dan modulus elastisitas.

### Beton Serat

Beton serat terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Pada umumnya serat tersebut berupa batang-batang dengan diameter antara 5 sampai 500  $\mu\text{m}$  (mikro meter) dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm. Bahan serat dapat berupa: serat asbestos, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja (Tjokrodijuljo 1996, 122). Jika serat yang dipakai memiliki modulus elastisitas lebih tinggi daripada beton, misalnya kawat baja, maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, kuat tarik, maupun modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi dari beton biasa (Tjokrodijuljo, 1996: 122).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suhendro (2000) membuktikan bahwa sifat-sifat kurang baik dari beton, yaitu getas, tidak mampu menahan tegangan tarik, dan ketahanan yang rendah terhadap beban *impact* dapat diperbaiki dengan menambahkan fiber lokal yang terbuat dari potongan kawat pada adukan beton. Dibuktikan pula bahwa tingkat perbaikan yang diperoleh dengan fiber lokal tidak banyak berbeda dengan hasil – hasil yang dilaporkan di luar negeri dengan menggunakan *steel fiber*.

Beton memiliki kekuatan tekan tinggi, namun kekuatannya rendah. Apabila bahan serat ditambahkan dalam campuran beton, kekuatan tarik beton dapat diperbaiki.

Serat untuk campuran beton dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

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

Interaksi serat dan pasta semen merupakan sifat dasar yang mempengaruhi kinerja dari beton komposit. Pemahaman dari interaksi ini diperlukan untuk memperkirakan sifat-sifat kompositnya. Parameter utama yang mempengaruhi interaksi serat dan pasta semen antara lain:

1. Kondisi pasta semen
2. Bentuk dan jenis serat
3. Volume fraksi serat

### Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-2011, kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah mesin uji tekan (*Compression Test Machine*). Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas permukaan benda uji (mm<sup>2</sup>)

### Kuat Tarik Belah Beton

Menurut SNI 03-2491-2002, nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan. Besarnya nilai kuat tarik belah beton (tegangan rekah beton) dapat dihitung dengan rumus:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi DL}$$

Keterangan:

$f_{ct}$  = kuat tarik belah beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

D = diameter silinder (mm)

L = panjang silinder (mm)

### Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas adalah perbandingan antara besarnya tegangan pada satu satuan regangan. Modulus elastisitas beton tidak pasti dan nilainya tergantung pada kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan antara semen dan agregat.

Rumus menghitung modulus elastisitas eksperimental (ASTM C 469-02), yaitu:

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)}$$

Dimana:

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$S_1$  = Tegangan pada regangan

$S_1$  = 0.000050 (MPa)

$S_2$  = 40 % tegangan max (MPa)

$\epsilon_2$  = Regangan longitudinal pada saat tegangan  $S_2$

Sedangkan secara teoritis, modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) dapat dihitung dengan rumus (SNI 03-2847-2002):

$$E_c = 0,043 \sqrt{f'_c} \cdot (W_c^{1,5})$$

Dimana:

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$f'_c$  = Kuat tekan beton umur 28 hari (MPa)

$W_c$  = Berat satuan beton (kg/m<sup>3</sup>)

### Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-2011). Pada saat pengujian kuat lentur beton akan terjadi defleksi pada bidang balok beton. Menurut Nugraha dan Antoni (2007), kuat lentur beton dihitung sesuai dengan lokasi keruntuhan pada benda uji.

Besarnya kuat lentur beton (modulus of rupture) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Apabila keruntuhan terjadi pada bagian tengah bentang

$$f_r = \frac{PL}{bd^2}$$

Keterangan:

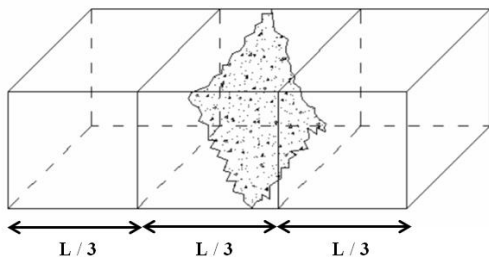
$f_r$  = modulus of rupture (MPa)

$P$  = beban maksimum (N)

$L$  = panjang bentang (mm)

$b$  = lebar spesimen (mm)

$d$  = tinggi spesimen (mm)



**Gambar 1.** Patah pada 1/3 bentang tengah.

Sumber : SNI 4431-2011

2. Apabila keruntuhan terjadi pada bagian tarik di luar tengah bentang

$$f_r = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Keterangan:

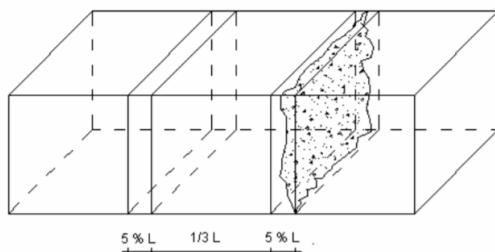
$f_r$  = modulus of rupture (MPa)

$P$  = beban maksimum (N)

$b$  = lebar spesimen (mm)

$d$  = tinggi spesimen (mm)

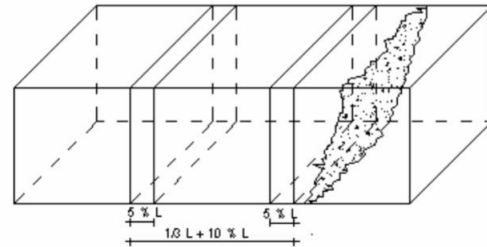
- a = jarak rata-rata dari garis keruntuhan dan titik perletakan terdekat diukur pada bagian tarik spesimen (mm)



**Gambar 2.** Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang

Sumber: SNI 4431-2011

3. Untuk benda uji yang patahnya di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak dipergunakan.



**Gambar 3.** Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada >5% dari bentang  
Sumber: SNI 4431-2011

## METODE PENELITIAN

### Bagan Alir Penelitian

Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 4.

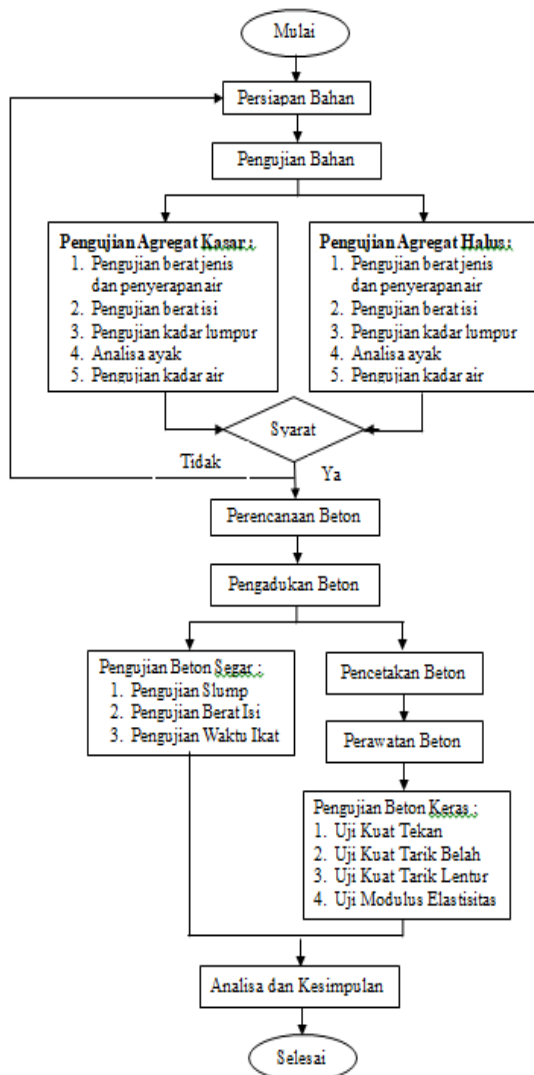
### Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat halus (pasir alam), agregat kasar (batu pecah), semen (tipe 1 PCC), air dan kawat bendrat (diameter 1 mm yang dipotong sepanjang 8 cm).

### Pengujian Material

Setelah semua bahan telah disiapkan, kemudian dilakukan pengujian material. Material yang digunakan adalah agregat halus (pasir alam), agregat kasar (batu pecah) dan kawat bendrat (diameter 1 mm yang sudah dipotong sepanjang 8). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah material yang digunakan sudah memenuhi standar SNI 03-1750-1990. Adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan sebagai berikut.

1. Berat jenis dan penyerapan Air
2. Berat isi
3. Analisa ayak
4. Kadar lumpur
5. Kadar air



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

### Rancang Campuran

Rancang campuran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode perbandingan berat dengan perbandingan 1 : 2 : 2, yang kemudian didapatkan proporsi campuran per variasi sebagai berikut:

Tabel 1. Rancang Campuran

Bahan	Berat (17 Benda Uji) (Kg)
PC	41.94
Pasir	83.87
Kerikil	83.87
Air	16.77
0% Kawat Bendrat	0
0.5% Kawat Bendrat	1.13
0.75% Kawat Bendrat	1.70
1% Kawat Bendrat	2.26

### Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan pengadukan menggunakan mesin molen dimana setiap satu kali pengadukan digunakan untuk membuat 1 variasi dengan jumlah benda uji per variasi sebanyak 17 sampel (15 silinder, 2 balok). Benda uji silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, digunakan untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas. Untuk benda uji balok berukuran panjang 50 cm, lebar 10 cm dan tinggi 10 cm, digunakan untuk pengujian kuat lentur. Setelah diaduk, beton segar dimasukkan ke dalam cetakan kemudian buka cetakan setelah kurang lebih 24 jam. Setelah dilepas dari cetakan, kemudian dilakukan perawatan beton dengan cara direndam.

### Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji mencapai umur pengujian, benda uji diangkat dari bak rendam dan didiamkan di tempat yang kering untuk mengeringkan benda uji. Setelah benda uji kering, dilakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas menggunakan mesin tekan. Untuk pengujian kuat tarik, beton diposisikan tertidur dan ditambahkan batang besi di bagian atasnya. Untuk pengujian kuat lentur, beton diletakan diatas dua titik tumpu dengan posisi tertidur kemudian ditekan dengan satu titik tumpu bagian tengah atas. Adapun untuk pengujian modulus elastisitas, posisi beton sama seperti dalam pengujian kuat tekan yaitu posisi tegak namun ditambahkan alat *Compressometer* dan *extensometer* pada silinder beton. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 7.

Setelah didapatkan data-data hasil pengujian, dilakukan analisa dan pembahasan terhadap data-data tersebut.

## HASIL dan PEMBAHASAN

### Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan terhadap agregat kasar dan agregat halus. Pengujian bahan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik agregat yang digunakan. Hasil pengujian agregat tertera pada tabel berikut.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Agregat

Sifat Agregat	Agregat Halus	Agregat Kasar
Gradasi	Zona 2	Maks 40 mm
Berat Jenis	1.960	2.680
Penyerapan Air (%)	8.835	7.683
Berat Isi Lepas (kg/m <sup>3</sup> )	871.244	1123.602
Berat Isi Padat	1047.784	1252.997
Voids (%)	55.467	57.997
Modulus Halus Butir	2.200	8.536
Kadar Lumpur (%)	0.953	0.310
Kadar Air 0% dan 0,5% (%)	23.780	5.74
Kadar Air 0,75% (%)	26.080	5.45
Kadar Air 1% (%)	23.317	5.39

### Pengujian Slump

Pengujian *Slump* dilakukan setelah pengadukan telah selesai. Tujuan pengujian ini yaitu untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada beton.

Dari hasil pengujian, didapatkan nilai slump pada variasi 0,5% sebesar **145 mm**, pada variasi 0,75% sebesar **130 mm** dan pada variasi 1% sebesar **125 mm**. Dari grafik 5.3, dapat disimpulkan bahwa nilai slump menurun seiring dengan penambahan serat sehingga tingkat (*workability*) beton akan mengalami penurunan. Adapun hal ini terjadi karena penambahan serat kawat bendrat memperkuat ikatan antar material sehingga nilai *slump* beton segar menurun.

### Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi dilakukan setelah nilai slump sudah sesuai target. Pengujian berat isi dilakukan untuk mengetahui perubahan berat isi beton segar setelah ditambahkan kawat bendrat.

Dari hasil pengujian yang tertera, diketahui bahwa berat isi beton segar mengalami penurunan pada variasi 0,5% dan terus mengalami peningkatan pada variasi 0,75% dan 1% dengan perubahan yang tidak signifikan. Hal ini terjadi karena berat jenis dari kawat bendrat (7850 kg/m<sup>3</sup>) lebih besar dari berat jenis beton (2200 kg/m<sup>3</sup>).

### Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dengan menggunakan benda uji silinder. Hasil uji kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar 3 dan tabel 2.

Berdasarkan pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, didapatkan hasil uji kuat tekan rata-rata umur 28 hari variasi 0%, 0,5%, 0,75%, 1% secara berturut-turut sebesar **14 Mpa, 14,24 Mpa, 16,56 Mpa dan 13,51 Mpa**. Diketahui dengan ditambahkannya kawat bendrat, kuat tekan mengalami peningkatan dengan peningkatan optimum tercapai pada variasi 0,75% yaitu sebesar **16,56 Mpa** sehingga beton mengalami peningkatan kuat tekan sebesar **18,28%** dari beton normal (tanpa kawat bendrat). Adapun kuat tekan pada beton variasi 1% mengalami penurunan dari nilai optimum. Hal ini disebabkan karena berlebihan jumlah serat pada campuran beton mengakibatkan beton menjadi sulit untuk homogen dan void yang dihasilkan pada beton juga semakin banyak.

### Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik beton dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji silinder. Hasil

uji kuat tarik dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 4.

Berdasarkan pengujian kuat tarik beton pada tabel dan grafik, didapatkan hasil uji kuat tarik rata-rata umur 28 hari variasi 0%, 0,5%, 0,75%, 1% secara berturut-turut sebesar **0,995 Mpa, 1,004 Mpa, 1,165 Mpa** dan **1,136 Mpa**. Diketahui dengan ditambahkannya kawat bendrat, kuat tarik mengalami peningkatan dengan peningkatan optimum tercapai pada variasi 0,75% yaitu sebesar **1,165 Mpa** sehingga beton mengalami peningkatan kuat tarik sebesar **21,99%** dari beton normal (tanpa kawat bendrat). Adapun kuat tarik pada beton variasi 1% mengalami penurunan dari nilai optimum. Hal ini disebabkan karena berlebihnya jumlah serat pada campuran beton yang mengakibatkan beton menjadi sulit untuk homogen dan void yang dihasilkan beton semakin banyak.

#### **Pengujian Kuat Lentur**

Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada umur 28 hari menggunakan benda uji balok. Hasil uji kuat lentur dapat dilihat pada table 4 dan gambar 5. Berdasarkan pengujian kuat lentur beton pada tabel dan grafik, didapatkan hasil uji kuat lentur rata-rata umur 28 hari variasi 0%, 0,5%, 0,75%, 1% secara berturut-turut sebesar **1,560 Mpa, 1,560 Mpa, 1,950 Mpa** dan **1,755 Mpa**. Diketahui dengan ditambahkannya kawat bendrat, kuat lentur mengalami peningkatan dengan peningkatan optimum tercapai pada variasi 0,75% yaitu sebesar **1,950 Mpa** sehingga beton mengalami peningkatan kuat lentur sebesar **25%** dari beton normal (tanpa kawat bendrat). Adapun kuat lentur pada beton variasi 1% mengalami penurunan dari nilai optimum. Sama seperti kuat tarik dan kuat tekan, hal ini disebabkan karena berlebihnya jumlah serat pada campuran beton mengakibatkan beton menjadi sulit untuk homogen dan void

yang dihasilkan pada beton semakin banyak.

#### **Pengujian Modulus Elastisitas**

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder bersamaan dengan pengujian kuat tekan umur 28 hari. Hasil uji modulus elastisitas dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar 6.

Berdasarkan pengujian modulus elastisitas pada beton, didapatkan hasil pada umur 28 hari variasi 0%, 0,5%, 0,75%, 1% secara berturut-turut sebesar **11129,057 Mpa, 12166,51 Mpa, 15184,56 Mpa** dan **13864,16 Mpa**. Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas berdasarkan perhitungan secara teoritis (garis merah) didapatkan hasil bereturut-turut sebesar **15906,331 Mpa, 15948,06 Mpa, 18133,66 Mpa, 16590,57 Mpa**. Sehingga dapat diketahui berdasarkan hasil pengujian maupun dari perhitungan teoritis, dengan ditambahkannya kawat bendrat kedalam campuran beton, modulus elastisitas mengalami peningkatan dengan peningkatan optimum tercapai pada variasi 0,75% yaitu sebesar **15184,560 Mpa** sehingga beton mengalami peningkatan modulus elastisitas sebesar **36,44%** dari beton normal (tanpa kawat bendrat). Dari grafik gambar 6, dapat diketahui bahwa nilai modulus elastisitas dengan pengujian dan perhitungan teoritis memiliki nilai yang mendekati dengan nilai optimum berada pada variasi 0,75% yaitu **18133,66 Mpa** untuk perhitungan teoritis dan **15184,56 Mpa** untuk hasil pengujian.

#### **KESIMPULAN**

Hasil pengujian kuat tekan maksimal pada kawat bendrat terjadi pada presentase 0,75% sebesar 16,56 MPa, modulus elastisitas maksimal pada kawat bendrat terjadi pada presentase 0,75% sebesar 15184,56 MPa, kuat tarik

belah maksimal pada kawat bendrat terjadi pada presentase 0,75% sebesar 1,165 MPa dan kuat lentur maksimal pada kawat bendrat terjadi pada presentase 0,75% sebesar 1,950 MPa. Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan kawat bendrat berbentuk lurus pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur serta modulus elastisitas beton. Dan dari hasil pengujian yang sudah dilakukan terhadap kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, dan modulus elastisitas) dengan kawat bendrat sebagai bahan tambah, didapatkan variasi yang optimum pada variasi 0,75%. Beton mengalami peningkatan kekuatan karena penambahan serat kawat bendrat pada beton akan memperkuat ikatan antar material pada beton. Adapun kekuatan pada beton persentase 1% mengalami penurunan terhadap persentase 0,75% karena jumlah kawat bendrat pada campuran beton terlalu banyak sehingga beton menjadi sulit untuk homogen dan void yang dihasilkan pada beton juga semakin banyak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. N. Faizah, *Perbandingan Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Lurus (Straight Dengan Serat Bendrat Berkait (Hooked) Terhadap Perilaku Beton Dengan Beban Tekan Berulang*, Lampung: Universitas Lampung, 2017.
- [2] Sudarmoko, *Indeks Tahanan Lentur Beton Serat*, vol. 17, no. gabungan, 1993.
- [3] B. Suhendro, *Beton Fiber Konsep, Aplikasi, dan Permasalahannya*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2000.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder SNI 03-1974-2011*, Bandung: BSN, 2011.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung Dengan Standar SNI 03-2847-2002*, Bandung: BSN, 2002.
- [6] Badan Standarisasi Nasional, *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder SNI 03-2491-2002*, Bandung: BSN, 2002.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan SNI 03-4431-2011*, Bandung: BSN, 2011.
- [8] Tjokrodimuljo, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Nafiri, 1996.
- [9] Madi, Jandsem Heo, *Optimasi Penggunaan Fly Ash Dengan Kadar Semen Minimum Pada Beton Mutu Tinggi*, Malang: ITN, 2018.
- [10] Leonardus, *Pemeriksaan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Yang Ditekuk Dengan Variasi Sudut Berbeda*, Jurnal Sipil Statik, 2019.
- [11] Association of Standard Testing Materials, *Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, ASTM C469-02, United States.
- [12] Badan Standarisasi Nasional, *Agregat Beton, Mutu dan Cara Uji SNI 03-1750-1990*, Bandung: BSN, 1990.