

# TA\_19041000024

*by Alita Dyah Ayu Pratiwi*

---

**Submission date:** 27-Mar-2023 08:14AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2047339098

**File name:** CEK\_PLAGIASI\_-\_ALITA\_DYAH\_AYU\_PRATIWI.docx (4.78M)

**Word count:** 11176

**Character count:** 61596

**PENGARUH PANJANG SERAT POLIMER TERHADAP  
KUAT LENTUR BALOK BETON BERSERAT**

**ALITA DYAH AYU PRATIWI**

**1904100024**

# Pengaruh Panjang Serat Polimer Terhadap Kuat Lentur

## Balok Beton Berserat

Alita Dyah Ayu Pratiwi

---

### ABSTRAK

Beton mampu menahan kuat tekan namun lemah terhadap kuat lentur. Bahan tambahan campuran beton serat polimer dapat memperbaiki kelemahan beton terhadap kuat tarik lentur.

Penelitian ini menggunakan serat polimer lebar 0,5 cm dengan variasi panjang serat 1 cm; 1,5 cm; 2 cm; dan 2,5 cm. Kadar serat polimer 1,5% dari berat semen, distribusi serat  $\frac{1}{2}$  Hb (tinggi balok), faktor air semen 0,48, dan benda uji balok 15 x 15 x 70 cm. Pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari dengan alat *Hydraulic Concrete Beam Testing Machine* kapasitas beban 100 kN. Pengujian kuat lentur berdasarkan ASTM C78/C78M tentang *standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)*.

Penambahan serat polimer dengan variasi panjang serat dapat meningkatkan nilai kuat lentur pada balok. Nilai kuat lentur rata-rata balok beton berserat tertinggi terdapat pada variasi panjang serat 2,5 cm yaitu 5,19 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 13,64% dari balok beton tanpa serat sebesar 4,56 Mpa.

**Kata Kunci:** Serat Polimer, Kuat Lentur, Balok Beton, Panjang Serat

### ABSTRACT

*The beam is able to withstand compressive strength but is weak against bending strength. Additives for polymer fiber concrete mixtures can improve concrete's weakness in flexural tensile strength.*

*This study used 0.5 cm wide polymer fibers with a fiber length variation of 1 cm; 1.5cm; 2cm; and 2.5 cm. The polymer fiber content was 1.5% of the cement weight, the fiber distribution was  $\frac{1}{2}$  Hb (height of the block), the water-cement factor was 0.48, and the test specimen was 15 x 15 x 70 cm. Tests were carried out on concrete aged 28 days with a Hydraulic Concrete Beam Testing Machine with a load capacity of 100 kN. Flexural strength test based on C78M regarding the standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading).*

*The addition of polymer fibers with variations in fiber length can increase the value of the flexural strength of the beam. The highest average flexural strength value of fiber concrete blocks is found in the fiber length variation of 2.5 cm, which is 5.19 MPa with a percentage increase of 13.64% compared to fiberless concrete blocks of 4.56 MPa.*

**Keywords:** Polymer Fibers, Flexural Strength, Concrete Beams, Fiber Length

## BAB I PENDAHULUAN

### 5.1 Latar Belakang

Beton adalah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen *Portland*, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen, dan air. Beton sebagai bahan yang berasal dari pengadukan bahan-bahan susun agregat kasar dan halus kemudian diikat dengan semen yang bereaksi dengan air sebagai bahan perekat, harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata agar dapat dicapai mutu beton baik (Dipohusodo, 1994). Beton dalam konstruksinya memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang rendah. Menurut Mulyono, (2004) sebagai bahan konstruksi, beton mempunyai kelebihan dan kekurangan, kelebihan beton antara lain dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap temperatur yang tinggi, dan biaya pemeliharaan yang kecil. Sedangkan kekurangan beton yaitu bentuk yang telah dibuat sulit diubah, pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi, dan daya pantul suara yang besar.

Salah satu sifat beton adalah kuat terhadap tekan dan lemah terhadap kuat tarik. Teknologi beton yang ideal yaitu beton berkinerja lebih baik dan berkualitas baik. Inovasi teknologi beton selalu dituntut guna menjawab tantangan akan kebutuhan, beton yang dihasilkan diharapkan mempunyai kualitas tinggi meliputi kekuatan, dan daya tahan tanpa mengabaikan nilai ekonomis (H. Tanudjaja, dkk, 2015). Untuk menciptakan beton dengan kualitas baik, maka perlu meningkatkan angka faktor air semen (fas). Peningkatan angka faktor air semen (fas) membuat penambahan banyak semen meningkat. Proses pengolahan semen sendiri dapat menghasilkan emisi berupa *Karbon Monoksida* (CO), *Karbon Dioksida* (CO<sub>2</sub>), *Nitrat Oksida* (NO<sub>x</sub>), *Sulfur Oksida* (Sox), dan debu/*particulate matter* (PM) dimana senyawa-senyawa tersebut dapat menyebabkan pencemaran udara. Untuk memperbaiki sifat beton tersebut dapat dilakukan dengan melalui

pemanfaatan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) maupun mineral (*mineral admixture*). Salah satu jenis bahan tambahan tersebut adalah serat dan polimer *concrete* (polcon), yang diharapkan dapat meningkatkan daktilitas dari beton yang dihasilkan (Shanti Wahyuni, dkk, 2016).

Menurut Suhardirman, M (2011), beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan sejumlah kecil serat atau fiber (ACI Committee 544, 1982). Penambahan serat pada beton dapat meningkatkan kekuatan tarik beton terhadap gaya tarik akibat cuaca, iklim, dan temperatur yang biasanya terjadi pada beton dengan permukaan luas. Berbagai macam serat yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik beton antara lain fiber baja (steel fiber), fiber polypropylene (sejenis plastik mutu tinggi), fiber kaca (glass fiber), fiber karbon (carbon fiber), serat fiber dari bahan alami (natural fiber), seperti ijuk, rambut, serat kelapa, serat goni, dan serat tumbuh-tumbuhan lainnya (Hasanr, dkk, 2013). Menurut Soroushian (1987), pendekatan teori untuk menjelaskan mekanisme kerja serat beton adalah dengan mendekatkan jarak antar serat (*Spacing concept*) dalam campuran beton akan membuat beton lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar dan memperkirakan kuat tarik dan lentur beton dengan asumsi bahan penyusun beton saling melekat sempurna (*Composit material concept*), dengan memperkirakan kekuatan material komposit saat timbul retak pertama (*first crack strength*).

Penelitian tentang beton berserat polimer pernah dilakukan oleh Yuri Khairizal, dkk (2015). Penelitian tersebut membahas tentang pengaruh penambahan serat *polypropylene* terhadap sifat mekanis beton normal. Bentuk benda uji silinder dengan diameter 15 x 30 cm dan balok dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm. Variabel serat yang digunakan 0,0 kg/m<sup>3</sup>, 0,2 kg/m<sup>3</sup>, 0,4 kg/m<sup>3</sup>, 0,6 kg/m<sup>3</sup>, 0,8 kg/m<sup>3</sup>, dan 1,0 kg/m<sup>2</sup>. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kuat lentur paling besar pada variabel penambahan serat 1,0 kg/m<sup>3</sup> sebesar 35,19%. Penelitian mengenai beton berserat polimer lainnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Hajatni Hasanr, dkk, (2013). Penelitian membahas tentang pengaruh penambahan

*polypropylene fiber* mesh terhadap sifat mekanis beton. Benda uji yang dipakai berupa silinder dengan diameter 15 x 30 cm dan balok berdimensi 15 x 15 x 60 cm. Variabel serat yang digunakan 0,0 kg/m<sup>3</sup>, 0,4 kg/m<sup>3</sup>, 0,6 kg/m<sup>3</sup>, dan 0,8 kg/m<sup>3</sup>. Dari hasil pengujian pengaruh kuat lentur optimum pada beton serat dengan variabel dosis 0,58 kg/m<sup>3</sup>. Selanjutnya, penelitian beton berserat polimer dilakukan oleh Hanafi Ashad, dkk (2020). Penelitian membahas mengenai kontribusi serat *fiber* dan polimer terhadap sifat-sifat mekanik beton. Benda uji yang digunakan yaitu berbentuk silinder dan balok. Variabel serat yang digunakan 0%, 0,25%, 0,50 %, 0,75%, dan 1%. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa pada penambahan serat *fiber* sebesar 0,51% menghasilkan kuat lentur optimum sebesar 4.90 Mpa.

Pembuatan beton berserat pada penelitian ini memakai jenis serat polimer *polyethilen* mesh dengan menggunakan variasi panjang serat yang belum pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian mengenai pembuatan beton berserat polimer dengan menggunakan polimer *polyethilen* mesh sebagai bahan tambahan pada campuran beton ini penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh panjang serat polimer terhadap kuat lentur balok beton berserat.

## 5.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh panjang serat polimer terhadap kuat lentur balok berserat?
2. Berapa panjang serat terbaik untuk menghasilkan kuat lentur balok berserat tertinggi?

## 5.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Beton yang digunakan mutu normal dengan  $f'c = 30$  Mpa.
2. Serat yang digunakan adalah serat polimer *polyethilen* mesh.
3. Bentuk serat yang digunakan berbentuk lurus (*straight*) dengan lebar 0,5 cm dan variasi panjang 10 mm, 15 mm, 20 mm, dan 25 mm sesuai dengan penelitian Sigit Widianto, dkk (2006).

4. Kadar serat dalam campuran beton sebesar 1,5% sesuai dengan penelitian Yogesh Iyer Murthy (2012) terhadap volume semen dengan distribusi serat dalam campuran beton sebanyak 0,5Hb.
5. Pengujian yang dilakukan yaitu kuat lentur balok beton berdasarkan ASTM C78/C78M tentang *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*.

#### 5.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh panjang serat polimer terhadap kuat lentur balok berserat?
2. Mengetahui panjang serat terbaik untuk menghasilkan kuat lentur balok berserat tertinggi?

#### 5.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diambil yaitu untuk segi keilmuan dan masyarakat. Manfaat penelitian untuk segi keilmuan dapat menambah variasi studi pustaka mengenai penelitian beton berserat dan dapat menjadi salah satu referensi untuk memperbaiki sifat beton.

Manfaat bagi masyarakat yang dapat diambil dari penelitian ini penambahan serat polimer jenis *polyethilen* diharapkan dapat menghasilkan beton dengan kuat lentur yang lebih baik dibandingkan dengan beton biasa dan meminimalisir penggunaan semen untuk mendapatkan nilai kuat lentur tinggi pada beton dengan menambahkan serat polimer.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 6.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian beton berserat polimer pernah dilakukan oleh beberapa peneliti yaitu:

1. Penelitian beton berserat mengenai pengaruh penambahan serat *polypropylene* terhadap sifat mekanis beton normal oleh Yuri Khairizal, dkk, 2015. Bentuk benda uji silinder berdiameter 15 x 30 cm dan balok berdimensi 15 x 15 x 60 cm. Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada beton berusia 28 hari dengan variasi serat 0,0 kg/m<sup>3</sup>, 0,2 kg/m<sup>3</sup>, 0,4 kg/m<sup>3</sup>, 0,6 kg/m<sup>3</sup>, 0,8 kg/m<sup>3</sup>, dan 1,0 kg/m<sup>3</sup>. Hasilnya kuat lentur beton mengalami peningkatan seiring dengan penambahan serat *polypropylene* pada beton. Pada beton tanpa penambahan serat *polypropylene* memiliki nilai kuat lentur 5,27 Mpa. Peningkatan nilai kuat lentur tertinggi terjadi pada beton dengan penambahan serat *polypropylene* 1,0 kg/m<sup>3</sup> sebesar 7,12 Mpa atau meningkat sebesar 35,19% dibandingkan dengan beton tanpa penambahan serat *polypropylene*.
2. Penelitian mengenai beton berserat polimer lainnya pernah dilakukan oleh Hasanr, dkk, (2013) mengenai pengaruh penambahan *polypropylene fiber* mesh terhadap sifat mekanis beton. Dosis serat yang digunakan 0,0 kg/m<sup>3</sup>, 0,4 kg/m<sup>3</sup>, 0,6 kg/m<sup>3</sup>, dan 0,8 kg/m<sup>3</sup>. Benda uji yang dipakai berupa silinder berdiameter 15 x 30 cm dan balok berdimensi 15 x 15 x 60 cm. Hasilnya pada beton tanpa tambahan dosis serat menunjukkan nilai kuat lentur sebesar 4,71 Mpa, beton dengan dosis serat 0,4 kg/m<sup>3</sup> menghasilkan kuat lentur sebesar 5,17 Mpa, beton dengan dosis serat 0,6 kg/m<sup>3</sup> menghasilkan kuat lentur sebesar 5,24 Mpa, dan untuk beton dosis serat 0,8 kg/m<sup>3</sup> menghasilkan nilai kuat lentur sebesar 5,15 Mpa. Pada penelitian tersebut pengujian pengaruh kuat lentur pada beton serat menghasilkan nilai kuat lentur optimum



pada beton serat dengan dosis 0,6 kg/m<sup>3</sup> menghasilkan kuat lentur sebesar 5,24 Mpa atau meningkat sebesar 11,26% dari beton normal.

3. Selanjutnya, penelitian mengenai beton berserat polimer dibahas pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Sigit Widiyanto, dkk (2006). Penelitian membahas mengenai pengaruh penambahan serat polypropylene dengan variasi panjang serat terhadap kekuatan beton. Penambahan serat polypropylene variasi panjang 2 cm, 4 cm, dan 6 cm berdiameter konstan dengan dosis 0,25% dan 0,75%. Benda uji yang digunakan yaitu berbentuk silinder berdiameter 15 x 30 cm dan balok berdimensi 50 x 10 x 10 cm. Hasilnya penambahan panjang serat terbaik untuk menghasilkan nilai kuat lentur optimum adalah pada penambahan panjang serat 6 cm dosis 0,25% yaitu 6,20 Mpa.

## **6.2 Teknologi Beton**

### **2.2.1. Penyusunan Beton**

Teknologi beton berkembang dengan pesat seiring berjalannya waktu. Teknologi beton dituntut untuk dapat berinovasi agar memiliki kinerja dan kualitas yang lebih baik. Teknologi beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Mulyono, (2004) sebagai bahan konstruksi, beton mempunyai kelebihan dan kekurangan, kelebihan beton antara lain dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap temperature yang tinggi, dan biaya pemeliharaan yang kecil. Sedangkan kekurangan beton antara lain bentuk yang telah dibuat sulit diubah, pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi, daya pantul suara yang besar, dan untuk beton mutu tinggi membutuhkan komposisi semen yang lebih banyak, hal tersebut dapat berdampak pada polusi akibat produksi semen.

### **2.2.2.Sifat-sifat Beton**

Sifat utama pada beton yaitu:

#### **1. Workabilitas**

Workabilitas adalah campuran beton yang mudah diaduk, dituangkan, disalurkan, dipadatkan, dan diselesaikan dengan baik tanpa adanya segregasi dan bleeding. Beton dalam kondisi demikian dikatakan mempunyai workabilitas yang baik. Workabilitas tergantung pada faktor air semen, gradasi, bentuk, dan tekstur agregat. Uji workabilitas campuran beton dilakukan dengan menggunakan slump test.

#### **2. Kohesifitas**

Kohesifitas adalah kondisi bahan-bahan penyusun campuran beton (agregat, semen, dan air) seragam dan kompak. Kohesifitas yang baik membuat beton menjadi lebih kedap air dan stabil. Beton yang tidak kohesif menyebabkan segregasi (terpisahnya agregat kasar dari campuran beton) dan bleeding (terpisahnya air semen dari campuran agregat dan semen dalam campuran beton). Campuran beton yang tidak kohesif disebabkan oleh kurangnya semen dan terlalu banyak air, agregat kasar banyak yang berbentuk panjang dan pipih, ukuran agregat kasar terlalu homogen, pelaksanaan pengecoran kurang baik, pemadatan terlalu lama, dan waktu transportasi beton ke proyek terlalu lama.

#### **3. Kekuatan Tekan**

Sifat beton paling utama adalah kuat tekannya yang besar dibanding material lain. Sehingga kuat tekan beton dipakai untuk ukuran mutu beton. Kuat tekan beton diperoleh dari uji kuat tekan benda uji silinder beton 150 x 300 mm pada umur 28 hari. Tetapi beton juga mempunyai kuat tarik yang kecil dibanding material lain. Kuat tarik beton 10% - 15% dari kuat tekan beton. Beberapa hal yang mempengaruhi mutu atau kuat tekan beton adalah kualitas agregat kasar dan halus, cara penakaran, pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan cara perawatan.

#### 4. Durabilitas

Durabilitas adalah ketahanan beton menghadapi segala kondisi, tanpa mengalami kerusakan selama jangka waktu layannya (*service ability*). Berkurangnya durabilitas pada beton dapat disebabkan oleh pengaruh fisik (*physical attack*) dan pengaruh kimia (*chemical attack*).

#### 2.2.3. Material Penyusun Beton

Menurut standar SK-SNI T-15-03 (1991), beton terbuat dari semen Portland, air, agregat (agregat kasar dan halus) dalam proporsi perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

##### a. Semen Portland

Semen adalah campuran senyawa kimia yang terdiri dari unsur dan bersifat hidraulik artinya jika dicampur air dalam jumlah tertentu akan mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan massa yang dapat mengeras. Bahan baku dalam pembuatan semen yaitu kapur ( $\text{CaO}$ ) dari kapur, Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dari Lempung, Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari lempung.

Ketika semen dicampur dengan air, maka akan timbul reaksi kimia yang mengandung berbagai macam senyawa Trikalسيوم Silikat ( $\text{C}_3\text{S}$ ), Dikalسيوم Silikat ( $\text{C}_2\text{S}$ ), Trikalسيوم Aluminat ( $\text{C}_3\text{A}$ ), dan Tetraikalسيوم Aluminoferit ( $\text{C}_4\text{AF}$ ). Semen memiliki sifat-sifat fisik yaitu modulus kehalusan butir, berat jenis, konsistensi normal (kebasahan normal) dengan air, waktu pengikatan awal (initial setting time) dengan waktu pengikatan akhir (final setting time), dan hidrasi.

##### b. Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, agregat didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan media pengikat untuk mengikat beton atau adukan semen hidrolis. Agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir-butir

besar (antara 5 mm sampai 40 mm). Sifat dari agregat kasar akan mempengaruhi kekuatan akhir dari beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek perusak lainnya (Tjokrodimuljo, 1996). Syarat kerikil yang digunakan dalam campuran beton yaitu bersifat padat, kersa, dan tidak berpori, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak, seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali, dan pada keadaan terpaksa dapat digunakan agregat berbentuk bulat atau pipih. Persentase batas gradasi agregat kasar lewat lubang ayakan ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maksimal		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 – 100	100	100
12	30 – 70	95 – 100	100
12,5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Sumber : Mulyono (2003)

### c. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu, dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm atau lolos sarungan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200. Agregat halus memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 4,8 mm. Agregat halus yang memiliki butiran lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, jika lebih kecil dari 0,075 mm disebut filer, dan jika lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay. Dalam penggunaannya agregat halus harus memenuhi syarat-syarat yaitu agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang tajam dan keras, bersifat kekal tidak mudah hancur atau pecah oleh pengaruh cuaca,

3 agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), dan tidak boleh menggunakan pasir laut.

2 Agregat halus digolongkan menjadi 3 golongan, yaitu pasir galian, pasir sungai, dan pasir laut (Mulyono, 2004). Penggolongan agregat halus menurut gradasinya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Butir Yang Lewat Ayakan (%)			
	Kasar	Agak Kasar	Halus	Agak Halus
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber : Mulyono, 2004

#### d. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting dan paling murah. Air berfungsi sebagai reactor ( $\pm 25\%$  dari berat semen) semen dan pelumas antar butir-butir agregat. Selain itu, air juga diperlukan untuk perawatan beton.

6 Menurut SNI 03-6861.1-2002, persyaratan air untuk campuran beton yaitu:

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik, dan lainnya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan khlorida (Cl) < 0,50 gram.liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO<sub>3</sub>.

5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 0,05 gram/liter.

### 2.3 Faktor Air Semen (FAS)

Dalam menentukan jumlah air suatu campuran beton dikenal suatu nilai yang disebut nilai Faktor Air Semen (FAS). Faktor Air Semen atau *water to cementious ratio*, adalah rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen pada campuran beton. Semakin kecil nilai FAS yang dipakai maka akan menghasilkan kekuatan beton yang semakin baik pula (Rosie Arizki Intan Sari, dkk, 2015). Menurut Tjokrodimulyo (2007) umumnya nilai FAS yang diberikan dalam praltek pembuatan beton minimal 0,4 dan maksimal 0,65 (Rosie Arizki Intan Sari, dkk, 2015). Menurut Bale (1999), pengaruh sifat-sifat agregat terhadap campuran beton yaitu sebagai bahan pengisi (filler), memberikan stabilitas volume dan keawetan, memberikan sifat dapat dikerjakan dan keseragaman campuran, membantu semen dalam merekatkan agregat kasar, mencegah segregasi pada semen dan agregat kasar, dan memberikan kekuatan pada beton.

### 2.4 Beton Serat

Beton serat adalah campuran beton dengan penambahan serat dalam konsentrasi tertentu. Menurut Suhardirman, M (2011), beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan sejumlah kecil serat atau fiber (ACI Committee 544, 1982). Serat polimer digunakan sebagai bahan penambahan beton serat karena memiliki ketahanan tinggi terhadap kuat lentur dan dapat digunakan untuk perbaikan sifat pada beton yaitu dengan meningkatkan ketahanan retak awal (*first crack*). Banyak inovasi yang muncul untuk memperbaiki kinerja beton agar lebih baik sehingga munculah istilah seperti beton bertulang, beton pratekan, dan beton serat.

Beton serat adalah bahan komposit yang cara pembuatannya ditambahkan serat didalamnya (Hanafi Ashad, dkk, 2020). Berbagai macam serat yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik beton antara lain fiber baja (stell fiber), fiber polypropylene (sejenis plastik mutu tinggi), fiber kaca (glass fiber), fiber karbon (carbon fiber), serat fiber dari bahan alami (natural fiber), seperti ijuk, rambut, serat kelapa, serat goni, dan serat tumbuh-tumbuhan lainnya (Hasanr, dkk, 2013). Menurut Warsena (1998), syarat-syarat yang harus dimiliki serat agar dapat meningkatkan kualitas beton dan dapat dikerjakan dengan mudah yaitu ketahanan selama proses pengadukan dan pengerjaan beton, ketahanan korosi, perubahan fase atau bentuk akibat perubahan suhu, ikatan mekanik dari kimia atau penjangkaran serat dalam beton adalah hal penting untuk memperoleh kekuatan yang diinginkan, memiliki kekuatan yang tinggi, kekerasannya keliatan, serta kemampuan menyerap energi, dan penyebarannya dapat merata keseluruhan bagian beton tanpa terjadi penggumpalan. Sifat-sifat polimer disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat Beton Polimer

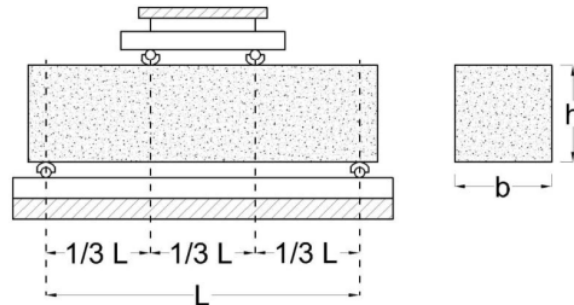
Karakteristik	PCC	PIC	PC
Kekuatan Kompresif (Mpa)	34,47	137,88	130,98
Kekuatan Tensile (Mpa)	2,41	10,334	9,65
Modulus Young ( $10^{-3}$ Mpa)	24,12	41,36	34,47
Kekuatan Geser (kPa)	861	-	$\geq 4481$
Absorpsi (%)	5,5	0,6	0,6
Ketahanan Remuk	700/25	3500/21	1666/0
Ketahanan Asam	-	10x	$\geq 20x$

Sumber: Feldman (1995)

## 2.5 Sifat Mekanik Beton

Menurut SNI 03-4431-1997, Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan

luas (Fanto Pardomuan Pane, dkk, 2015). Sistem pembebanan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema Alat Uji Lentur untuk *Third-Point Loading Method*  
 Sumber: *ASTM C78/C78M tentang Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading)*.

*Modulus of rupture* ( $\sigma$ ) merupakan tolak ukur kuat tarik pada balok beton. Nilai  $\sigma$  dipengaruhi oleh besarnya gradasi butiran agregat halus, kepadatan balok, dan perbandingan kadar air dan semen. R dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa) menyatakan besarnya kuat tarik pada balok beton tanpa besi tulangan untuk menahan kegagalan pada tekuk.

Pengujian kuat lentur beton menurut ASTM C78/C78M untuk *Third-Point Loading Method* dilakukan dengan menggunakan balok 15 x 15 x 60 cm. Persamaan kuat tarik lentur beton yaitu:

$$\sigma = \frac{P.L}{b.d^2} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma$  = Kuat lentur beton atau *modulus of rupture*

P = Beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok

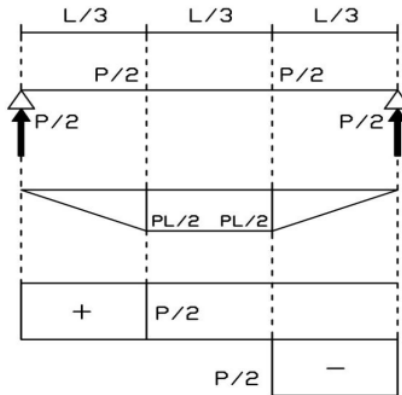
L = Panjang bentang antara kedua balok tumpuan

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal

d = Tinggi tampang lintang patah arah vertikal

Momen maksimum terjadi pada sepertiga bentang yang di tengah dapat dilihat pada gambar 2.2.



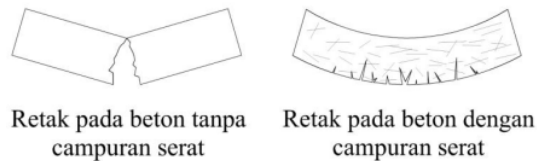


Gambar 2.2 Diagram Momen (M) dan Gaya Lintang (D)

Sumber: Dokumentasi (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

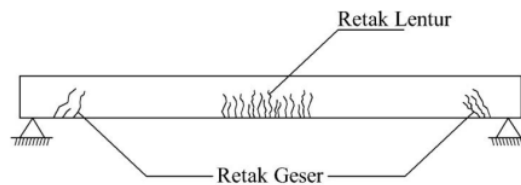
## 2.6 Kuat Tarik Lentur

Beton dapat mengalami mekanisme keruntuhan tarik. Tegangan yang terjadi saat deformasi tidak boleh melebihi dari tegangan lentur yang diijinkan. Jika tegangan melebihi tegangan lentur yang diijinkan, maka beton akan mengalami retak seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Retak Pada Balok Beton Berserat Dan Tanpa Serat

Sumber: Astawa. 2016



Gambar 2.4 Retak Pada Balok Beton

Sumber: Astawa. 2016

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Program Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Merdeka Malang dengan melakukan pengujian benda uji beton. Beton menggunakan pasir hitam lumajang zona 2, batu pecah 10-20 mm, semen Portland tipe 1, air, dan bahan tambahan serat polimer. Pada penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh panjang serat polimer terhadap kuat lentur balok beton berserat.

Kegiatan penelitian ini diawali dengan studi literature mengenai beton berserat polimer mutu normal. Setelah itu, melakukan perhitungan mix design yang bertujuan untuk mengetahui berapa komposisi campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan serat. Pembuatan balok beton berserat polimer dimulai dengan pencampuran air, pasir, semen, dan batu pecah ke dalam molen. Setelah itu campuran beton dimasukkan ke dalam bekisting berdimensi 15 x 15 x 70 cm. Selanjutnya perawatan benda uji hingga dilakukan pengujian kuat tarik lentur pada setiap variabel balok beton berserat polimer dan balok beton normal.

Hasil pengujian dianalisis dan diambil rata-rata kuat tarik lentur pada setiap variabel benda uji. Kemudian diambil kesimpulan mengenai pengaruh panjang serat polimer terhadap kuat lentur balok beton berserat.

#### **3.2 Bahan Dan Peralatan**

##### **3.2.1. Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam membuat beton berserat dengan mutu normal yaitu:

##### **1. Agregat Halus**

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir hitam lumajang. Agregat halus melalui analisa saringan, berat

volume, dan berat jenis terlebih dahulu. Agregat halus memakai pasir yang telah lolos saringan 4 seperti gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pasir Hitam Lumajang Zona 4

#### 2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu pecah dengan berukuran 10-20 mm seperti gambar 3.2.



Gambar 3.2 Batu Pecah 10-20 mm

#### 3. Air

Air yang digunakan adalah air PDAM seperti gambar 3.3.



Gambar 3.3 Air

#### 4. Semen *Portland*

Semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen *portland* tipe 1 yang terbuat dari bahan baku kapur, silika, dan aluminium. Dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Semen *Portland* Tipe 1

## 5. Serat Polimer

Serat polimer yang dipotong terlebih dahulu sesuai variabel panjang yang telah ditentukan seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Serat Polimer

### 3.2.2. Peralatan

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini tersedia di Laboratorium Beton Universitas Merdeka Malang. Peralatan yang digunakan yaitu:

#### 1. Hydraulic Concrete Beam

Alat yang digunakan untuk uji kuat tarik lentur beton yaitu hydraulic concrete beam berkapasitas 100 Kn dengan standart pengujian kuat lentur ASTM C-78 seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Hydraulic Concrete Beam

#### 2. Timbangan Digital

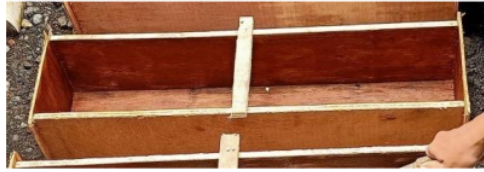
Penimbangan material menggunakan timbangan digital dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Timbangan Digital

#### 3. Bekisting Balok Berukuran 15 x 15 x 70 cm

Mencetak balok dengan menggunakan ekisting balok balok berdimensi 15 x 15 x 70 cm seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Bekisting Balok 15 x 15 x 70 cm

4. Timbangan *Triple Beam*

Penimbangan material menggunakan timbangan *triple beam* dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Timbangan *Triple Beam*

5. Kuas

Alat yang digunakan untuk mengolesi oli pada bekisting yaitu kuas seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kuas

6. Palu

Memukul paku pada saat pembuatan bekisting menggunakan palu dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Palu

7. Tongkat Besi

Pemadatan campuran beton saat pengecoran menggunakan tongkat besi seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Tongkat Besi

#### 8. Mesin Molen

Pencampuran balok beton menggunakan mesin molen seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Mesin Molen

#### 9. Cetok Semen

Perataan permukaan beton menggunakan cetok semen seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Cetok Semen

#### 10. Cetok Ukir

Pelepasan bekisting menggunakan cetok ukir seperti gambar 3.15.



Gambar 3.15 Cetok Ukir

#### 11. Pan Aluminium

Beton yang sudah tercampur dituangkan pada Pan Aluminium seperti pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Pan

### 3.3 Benda Uji

#### 3.3.1. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pembuatan balok beton berserat berdimensi 15 x 15 x 70 cm berdasarkan perencanaan campuran beton (*mix design*) SNI 2834-2000 dan SNI 2847-2013. *Mix design* beton dengan perbandingan semen, pasir, dan batu pecah yaitu 1 : 1,40 : 2,09. Variabel serat ditentukan dengan panjang 1,0 cm; 1,5 cm; 2,0 cm; dan 2,5 cm. Faktor air semen (fas) 0,48. Volume serat 1,5% terhadap berat semen dengan distribusi serat ½ tinggi balok (½ Hb).

Kebutuhan bahan yang dipakai untuk membuat balok beton berserat mutu normal dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rencana Campuran Beton Mutu Normal

No	Komposisi Campuran Beton Per 1 m <sup>3</sup>				
	Jumlah	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Batu Pecah (Kg)	Air (Kg)
1.	Berat Bahan	469	654,50	981,75	225
	Perbandingan Berat	1	1,40	2,09	
2.	Volume Material	438	423	652	-
	Perbandingan Volume	1	0,97	1,49	-

Sumber: *Perhitungan Mix Design*

Kebutuhan 1 buah balok beton:

Faktor Air Semen (FAS) = 0,48

Volume balok = 15 x 15 x 70 = 0,016 m<sup>3</sup>

Berat semen *Portland* = 0,016 x 468,75 = 7,383 Kg

Berat pasir = 0,016 x 654,50 = 10,308 Kg

Berat Batu Pecah	= 0,016 x 981,75	= 15,463 Kg
Berat air	= 0,016 x 225	= 3,544 Kg
Berat serat polimer	= 1,5% x 7,383	= 110,742 gr

### 3.3.2. Detail Benda Uji

Benda uji yang dipakai pada penelitian ini balok dengan dimensi 15 x 15 x 70 cm berjumlah 15 buah. Benda uji dibagi menjadi 5 populasi dengan variabel bebas panjang serat 1,0 cm; 1,5 cm; 2 cm; dan 2,5 cm dan distribusi serat ½ tinggi balok (½ Hb) dengan volume serat 1,5% sesuai dengan penelitian Yogesh Iyer Murthy (2012) terhadap berat semen. Detail benda uji dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Detail Benda Uji Balok Beton Berserat Mutu Normal

No.	Kode Benda Uji	Variabel Bebas	Variabel Terikat	Jumlah Benda Uji
1.	BBN-1	Populasi 1 Kadar 0,0% ; Hb ; 0,0 cm	Kuat Lentur	3
	BBN-2			
	BBN-3			
2.	BSP 1,0 cm-1	Populasi 2 Kadar 1,5% ; ½ Hb ; 1,0 cm		3
	BSP 1,0 cm-2			
	BSP 1,0 cm-3			
3.	BSP 1,5 cm-1	Populasi 3 Kadar 1,5% ; ½ Hb ; 1,5 cm		3
	BSP 1,5 cm-2			
	BSP 1,5 cm-3			
4.	BSP 2,0 cm-1	Populasi 4 Kadar 1,5% ; ½ Hb ; 2,0 cm		3
	BSP 2,0 cm-2			
	BSP 2,0 cm-3			
5.	BSP 2,5 cm-1	Populasi 5 Kadar 1,5% ; ½ Hb ; 2,5 cm		3
	BSP 2,5 cm-2			
	BSP 2,5 cm-3			
Total Benda Uji				15

Sumber: Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



<sup>1</sup> Pemberian kode benda uji dilakukan untuk mempermudah dalam mengenali benda uji:

- 1.) BBN-1,2,3 : Balok beton normal benda uji 1,2, dan 3.
- 2.) BSP 1,0 cm-1,2,3 : Beton serat polimer panjang 1,0 cm benda uji 1,2, dan 3.
- 3.) BSP 1,5 cm-1,2,3 : Beton serat polimer panjang 1,5 cm benda uji 1,2, dan 3.
- 4.) BSP 2,0 cm-1,2,3 : Beton serat polimer panjang 2,0 cm benda uji 1,2, dan 3.
- 5.) BSP 2,5 cm-1,2,3 : Beton serat polimer panjang 2,5 cm benda uji 1,2, dan 3.

### **3.3.3. Pembuatan Benda Uji**

#### **1. Tahap Persiapan**

Pada tahap ini dilakukan studi pustaka, pengumpulan material dan menyiapkan alat-alat yang akan dipakai pada penelitian ini.

#### **2. Pengujian Material Dasar Benda Uji**

Material yang akan digunakan pada penelitian ini melalui pengujian material meliputi pengujian berat isi, berat jenis, dan analisa saringan.

##### **a. Agregat Kasar**

Dilakukan pengujian berat isi, berat jenis, dan analisa saringan pada agregat kasar berdasarkan ASTM C29/C29M-91a, ASTM C128-88, dan ASTM C136-95a.

##### **b. Agregat Halus**

Pada agregat halus dilakukan pengujian berat isi, berat jenis, dan analisa saringan berdasarkan ASTM C29-78, ASTM C128-93, dan ASTM C136-95a.

#### **3. Perencanaan *Mix Design***

Perencanaan perhitungan mix design mempengaruhi sifat dan karakteristik beton sehingga beton sesuai dengan komposisi

campuran beton dan mutu beton yang diinginkan. Perhitungan mis design berdasarkan SNI 2834-2002 dan SNI 2847-2013.

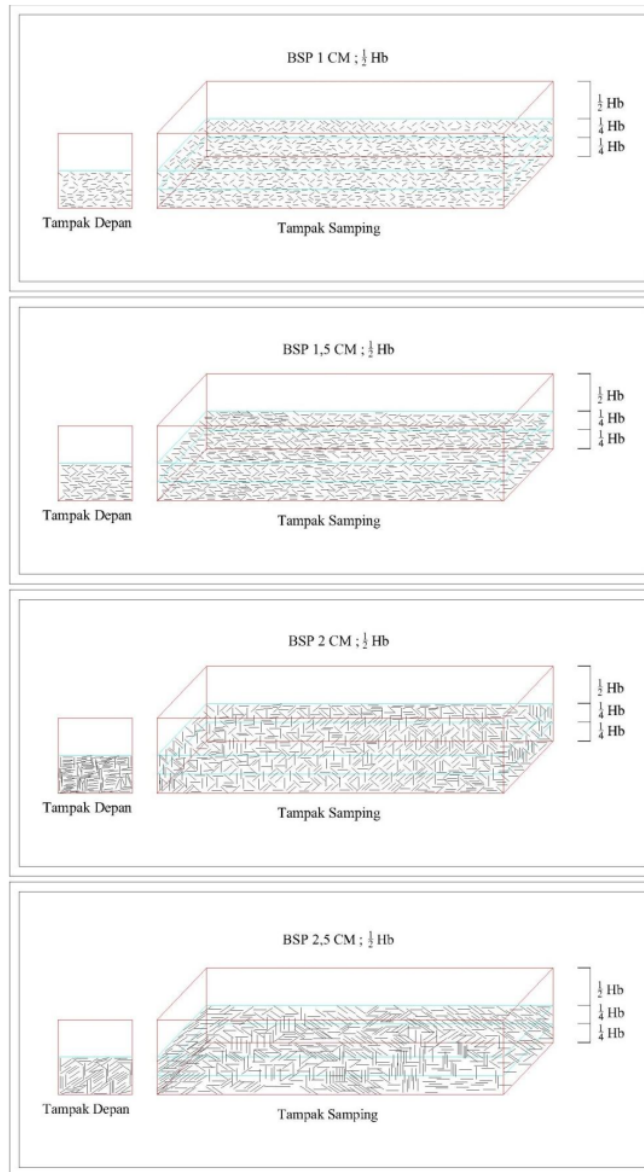
#### 4. Pembuatan Benda Uji Balok Beton Berserat

Berikut langkah-langkah yang digunakan dalam pembuatan benda uji beton balok berserat mutu normal adalah:

- a. Siapkan semua bahan lalu timbang sesuai dengan takaran mix design yang telah diperhitungkan.
- b. Menyiapkan kuas, oli, dan bekisting 15 x 15 x 70 cm dan oleskan oli tipis di permukaan dalam bekisting.
- c. Putar mesin molen dan isi air sebagian untuk membasahi dan masukkan semua batu pecah biarkan tercampur dengan rata.
- d. Masukkan semua semen hingga tercampur rata lalu masukkan semua pasir, sisa air, dan material lainnya. Biarkan 2-3 menit hingga tercampur dengan rata.
- e. Setelah adukan beton terlihat homogen, tuangkan sebagian adukan beton ke pan aluminium.
- f. Masukkan adukan beton masing-masing  $\frac{1}{4}$  bagian ke dalam bekisting balok berukuran 15 x 15 x 70 cm dan lakukan penyebaran serat secara berkala. Penyebaran serat dilakukan per  $\frac{1}{4}$  bagian balok. Padatkan campuran beton didalam bekisting dengan alat peronjok yaitu batang besi. Masing-masing bagian dirojok hingga serat tercampur merata.
- g. Ulangi langkah-langkah tersebut hingga serat tersebar pada  $\frac{1}{2}$  tinggi balok ( $\frac{1}{2}$  Hb) bagian bawah.
- h. Setelah bekisting sudah terisi penuh oleh campuran beton lalu tunggu hingga 24 jam. Setelah 24 jam, buka bekisting dan lakukan perendaman selama 7 hari.
- i. Setelah 7 hari, angkat balok beton dari rendaman dan biarkan hingga 28 hari untuk dilakukan pengujian kuat lentur beton.

### 3.3.4. Visualisasi Penyebaran Serat Polimer

Penyebaran serat polimer untuk semua variasi panjang serat adalah  $\frac{1}{2}$  tinggi balok ( $\frac{1}{2}$  Hb). Visualisasi penyebaran serat polimer dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Visualisasi Penyebaran Serat Polimer  
Sumber: Dokumentasi (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

### 3.4 Pengujian Benda Uji

#### 3.4.1 Pengujian Kuat Tarik Lentur

Berikut langkah-langkah yang digunakan dalam pengujian kuat tarik lentur balok beton berserat berdasarkan standar ASTM C-78:

1. Setelah beton berumur 28 hari setelah pengecoran, dilakukan uji kuat tarik lentur beton.
2. Beton yang akan diuji diberikan stiker kode untuk memudahkan dalam mengidentifikasi benda uji.
3. Membuat garis marking pada sisi kanan dan kiri sepanjang 5 cm dari ujung balok.
4. Letakkan benda uji balok pada alat *hydraulic concrete beam*. Posisi balok berada lurus dengan alat. Sesuaikan dengan tumpuan pada garis marking sisi samping kanan dan kiri masing-masing 5 cm. Beban bertumpu pada 1/3 bentang balok (1/3 L).
5. Pastikan jarum beban berada pada garis nol. Rapatkan katup kontrol searah jarum jam. Kemudian memompa pompa hydraulic perlahan hingga loading block menekan benda uji balok.
6. Amati perubahan kenaikan beban tekan yang terjadi pada jarum beban. Bila jarum beban berhenti bergerak dan balok sudah patah, maka pemompaan dihentikan.
7. Lakukan pembacaan jarum beban, mendokumentasi, dan mencatat besar nilai beban pada formulir uji kuat lentur.
8. Olah data hasil perhitungan kuat lentur pada beban maksimum yang diterima benda uji berdasarkan ASTM C78/C78M.

#### 3.4.2 Analisis Data

Hasil dari pengujian semua benda uji balok beton berserat dan balok beton normal akan diolah lebih lanjut untuk mengetahui nilai kuat tarik lentur. Kemudian dari hasil data di cari nilai rata-rata dari tiap populasi. setelah itu dibuat perbandingan kuat tarik lentur antara populasi satu dengan populasi lainnya. Analisa terakhir membandingkan nilai kuat lentur yang tinggi antara populasi satu dengan populasi lainnya dengan menggunakan persamaan:

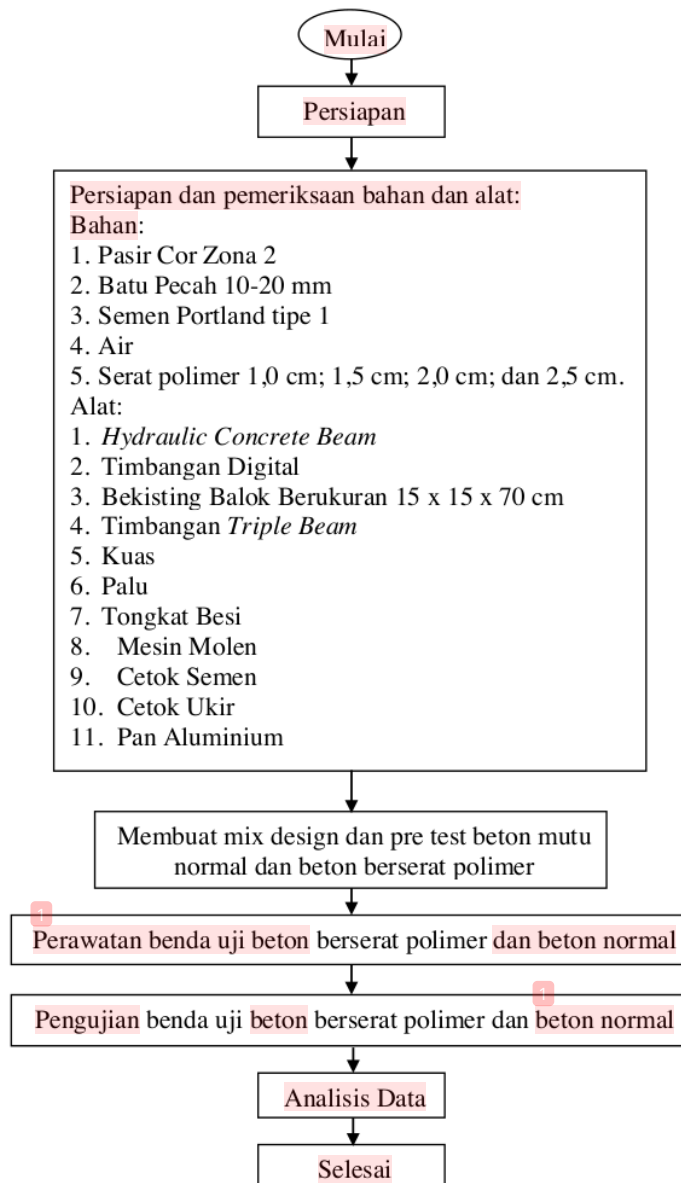
$$\sigma = \frac{P.L}{b.d^2} \quad (2)$$

Keterangan:

- $\sigma$  = Kuat lentur beton atau *modulus of rupture*
- P = Beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok
- L = Panjang bentang antara kedua balok tumpuan
- b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal
- d = Tinggi tampang lintang patah arah vertikal

### 3.5 <sup>1</sup> Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Diagram Alir

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Deskripsi Umum**

Penelitian yang dilakukan yaitu penelitian eksperimental berupa pengujian sejumlah benda uji di laboratorium. Pengujian dilakukan pada benda uji balok beton berdimensi 70 x 15 x 15 cm dan bertujuan untuk mengetahui pengaruh panjang serat polimer terhadap kuat lentur balok beton berserat. Tahap penelitian dimulai dengan tahap persiapan, pengujian material dasar, perencanaan *mixdesign*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, dan pengujian kuat lentur benda uji.

Hasil dari penelitian berupa data nilai beban maksimum yang menyebabkan patah pada benda uji balok beton kemudian diolah untuk mendapatkan nilai kuat lentur setiap populasi. Selanjutnya dihitung nilai rata-rata setiap populasi dan membandingkan nilai rata-rata kuat lentur pada balok beton berserat polimer dengan balok beton tanpa serat. Setelah itu, dilakukan perbandingan penelitian dengan penelitian balok berserat polimer, variabel panjang serat lainnya, dan penelitian terdahulu untuk mengetahui besarnya pengaruh serat polimer terhadap kuat lentur pada balok beton.

#### **4.2 Pengujian Material**

Pengujian material beton untuk mengetahui sifat fisik material yang digunakan dalam pembuatan benda uji balok beton. Pengujian material penyusun menjadi parameter penting pada kualitas beton untuk memenuhi persyaratan campuran beton berdasarkan standart ASTM. Pengujian dilakukan terhadap material dasar benda uji pada agregat halus dan kasar untuk mengetahui berat jenis, berat isi, absorpsi, kadar air, dan analisa saringan agregat kasar dan halus.

##### **4.2.1. Pengujian Agregat Halus**

Agregat halus (pasir) yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dengan gradasi pasir

zone 2. Hasil pengujian material agregat halus dilakukan berdasarkan standart ASTM pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pangujian Agregat Halus

No	Parameter	Standart	Syarat ASTM	Hasil
1.	Berat Isi	ASTM C29-78	$\geq 1,50 \text{ gr/cm}^3$	1,547 $\text{gr/cm}^3$
2.	Berat Jenis Bulk	ASTM C128-93	$\geq 2,50 \text{ gr/cm}^3$	2,527 $\text{gr/cm}^3$
3.	Berat Jenis SSD		$\geq 2,50 \text{ gr/cm}^3$	2,534 $\text{gr/cm}^3$
4.	Berat Jenis Semu		$\geq 2,50 \text{ gr/cm}^3$	2,545 $\text{gr/cm}^3$
5.	Absorbsi Air		$\leq 2,30 \%$	0,281 %
6.	Kadar Air		$\leq 1,50 \%$	0,280 %
7.	Analisa Saringan (Zona Gradasi)	ASTM C136-95a	Zone 2	Zone 2
8.	Analisa Saringan (Modulus Kehalusan)	ASTM C35-37	$\geq 2,10-3,00$	4,586

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

#### 4.2.2. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah batu pecah tertahan saringan No. 4 (4,75 mm). Hasil pengujian material agregat kasar seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Parameter	Standart	Syarat ASTM	Hasil
1.	Berat Isi	ASTM C29-91a	$\geq 1,50 \text{ gr/cm}^3$	1,505 $\text{gr/cm}^3$
2.	Berat Jenis Bulk	ASTM C128-88R.38	$\geq 2,50 \text{ gr/cm}^3$	2,572 $\text{gr/cm}^3$
3.	Berat Jenis SSD		$\geq 2,50 \text{ gr/cm}^3$	2,697 $\text{gr/cm}^3$
4.	Berat Jenis Semu		$\geq 2,50 \text{ gr/cm}^3$	2,940 $\text{gr/cm}^3$
5.	Absorbsi Air		$\leq 2,30 \%$	4,862 %
6.	Kadar Air		$\leq 1,50 \%$	2,100 %
7.	Analisa Saringan (Zona Gradasi)	ASTM C136-95	Zone max 20 mm	Zone max 20 mm
8.	Analisa Saringan (Modulus Kehalusan)	ASTM C35-37	$\geq 2,10-3,00$	4,586

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



#### 12 4.2.3. Benda Uji *Trial Mix*

Benda uji *trial mix* berukuran silinder 15 x 30 cm untuk memenuhi target mutu beton yang ditetapkan dalam *mix design* sebesar 30 Mpa. Benda uji *trial mix* silinder sebanyak 5 buah. Perendaman benda uji dilakukan selama 7 hari. Pengujian benda uji *trial mix* dilakukan setelah umur beton 28 hari. Perhitungan kuat tekan benda uji silinder S-2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Tekanan Hancur (P)} &= 55050 \text{ kg} \\ \text{Luas Silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2 \\ &= 177 \text{ cm}^2 \\ \text{Kuat Tekan (f'c)} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{55050}{177} \\ &= 311,68 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 31,17 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Hasil nilai kuat tekan (f'c) pada benda uji silinder (S-2) yaitu 31,17 Mpa. Hasil <sup>13</sup>perhitungan kuat tekan benda uji *trial mix silinder* pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji *Trial Mix* (Silinder)

No.	Nama Benda Uji	Kode Benda Uji	P (Kg)	F'c (Mpa)	F'c Rata-rata
1.	Silinder 1	S-1	57150	32,36	31,78
2.	Silinder 2	S-2	55050	31,17	
3.	Silinder 3	S-3	56800	32,16	
4.	Silinder 4	S-4	53700	30,40	
5.	Silinder 5	S-5	58000	32,84	

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

Berdasarkan tabel 4.3 diperoleh hasil nilai kuat tekan (f'c) rata-rata sebesar 31,78 Mpa. Nilai kuat tekan rata-rata (f'c) telah memenuhi mutu beton yang direncanakan yaitu 30 Mpa. Maka perencanaan campuran beton yang digunakan benar.

### 4.3 Perhitungan Kebutuhan Bahan Campuran Beton

Perhitungan kebutuhan bahan campuran beton dalam pembuatan balok beton mutu normal berdasarkan perhitungan *mix design* sesuai SNI 2834-2002 tentang “Tata Cara atau Metode Perencanaan Campuran Beton Normal”.

#### 4.3.1. Perhitungan Bahan Campuran Beton Normal Per 1 m<sup>3</sup>

Pembuatan campuran beton normal per 1 m<sup>3</sup> berdasarkan perencanaan campuran *concrete mix design*. Hasil perhitungan kebutuhan campuran beton per 1 m<sup>3</sup> seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kebutuhan Campuran Beton Per 1 m<sup>3</sup>

Kebutuhan Campuran Beton Per 1 m <sup>3</sup>				
Jumlah	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Batu Pecah (Kg)	Air (Kg)
Berat Bahan	468,75	654,50	981,75	225
Perbandingan Berat	1	1,40	2,09	-

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

#### 4.3.2. Perhitungan Kebutuhan Bahan Untuk 1 Benda Uji Balok

Kebutuhan bahan untuk membuat 1 benda uji balok beton berukuran 15 x 15 x 70 cm berdasarkan pada kebutuhan campuran beton per 1 m<sup>3</sup>. Variabel panjang serat polimer 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, dan 2,5 cm mengacu pada penelitian yang telah dilakukan Sigit Widiyanto, dkk (2006). Kadar serat dalam campuran beton sebesar 1,5% sesuai dengan penelitian Yogesh Iyer Murthy (2012) terhadap volume semen dengan distribusi serat dalam campuran beton sebanyak 0,5 Hb (tinggi balok). Terdapat 5 populasi dengan masing-masing populasi memiliki 3 buah benda uji. Total benda uji balok beton yaitu 15 buah. faktor air semen (FAS) yang digunakan konstan yaitu 0,48.

##### 1. Kebutuhan Campuran Beton Untuk Populasi 1

Populasi 1 merupakan benda uji balok beton normal. Benda uji pada populasi ini berjumlah 3 buah berdimensi 15 x 15 x 70 cm. Perhitungan kebutuhan bahan campuran beton Populasi 1

berdasarkan pada kebutuhan campuran beton per 1 m<sup>3</sup>.  
Perhitungan bahan untuk 1 balok beton normal pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kebutuhan Campuran Beton untuk 1 Balok  
Beton Normal (Populasi 1)

Parameter	Perhitungan	Nilai
Faktor Air Semen (FAS)		0,48
Volume Balok	0,15 x 0,15 x 0,70	0,016 m <sup>3</sup>
Berat Semen <i>Portland</i>	0,016 x 468,75	7,383 Kg
Berat Pasir	0,016 x 654,50	10,308 Kg
Berat Batu Pecah	0,016 x 981,75	15,463 Kg
Berat Air	0,016 x 225	3,544 Kg

*Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)*

## 2. Kebutuhan Campuran Beton Untuk Populasi 2

Populasi 2 merupakan benda uji balok beton berserat polimer dengan panjang serat polimer 1 cm. Benda uji pada populasi ini berjumlah 3 buah berdimensi 15 x 15 x 70 cm. Kadar serat polimer 1,5% sesuai penelitian Yogesh Iyer Murthy (2012) dengan distribusi penyebaran serat pada ½ Hb (tinggi balok). Perhitungan kebutuhan bahan campuran beton Populasi 2 berdasarkan pada kebutuhan campuran beton per 1 m<sup>3</sup> dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kebutuhan Campuran Beton untuk 1 Balok  
Beton Berserat Polimer Panjang Serat 1 cm (Populasi 2)

Parameter	Perhitungan	Nilai
Faktor Air Semen (FAS)		0,48
Volume Balok	0,15 x 0,15 x 0,70	0,016 m <sup>3</sup>
Berat Semen <i>Portland</i>	0,016 x 468,75	7,383 Kg
Berat Pasir	0,016 x 654,50	10,308 Kg
Berat Batu Pecah	0,016 x 981,75	15,463 Kg
Berat Air	0,016 x 225	3,544 Kg
Berat Serat Polimer	1,5% x 7,383	110,742 gr

*Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)*

### 3. Kebutuhan Campuran Beton Untuk Populasi 3

Populasi 3 merupakan benda uji balok beton berserat polimer dengan panjang serat polimer 1,5 cm. Benda uji pada populasi ini berjumlah 3 buah berdimensi 15 x 15 x 70 cm. Kadar serat polimer 1,5% sesuai penelitian Yogesh Iyer Murthy (2012) dengan distribusi penyebaran serat pada  $\frac{1}{2}$  Hb (tinggi balok). Perhitungan kebutuhan bahan campuran beton Populasi 3 berdasarkan pada kebutuhan campuran beton per 1 m<sup>3</sup> dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Kebutuhan Campuran Beton untuk 1 Balok Beton Berserat Polimer Panjang Serat 1,5 cm (Populasi 3)

Parameter	Perhitungan	Nilai
Faktor Air Semen (FAS)		0,48
Volume Balok	0,15 x 0,15 x 0,70	0,016 m <sup>3</sup>
Berat Semen <i>Portland</i>	0,016 x 468,75	7,383 Kg
Berat Pasir	0,016 x 654,50	10,308 Kg
Berat Batu Pecah	0,016 x 981,75	15,463 Kg
Berat Air	0,016 x 225	3,544 Kg
Berat Serat Polimer	1,5% x 7,383	110,742 gr

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

### 4. Kebutuhan Campuran Beton Untuk Populasi 4

Populasi 4 merupakan benda uji balok beton berserat polimer dengan panjang serat polimer 2 cm. Benda uji pada populasi ini berjumlah 3 buah berdimensi 15 x 15 x 70 cm. Kadar serat polimer 1,5% sesuai penelitian Yogesh Iyer Murthy (2012) dengan distribusi penyebaran serat pada  $\frac{1}{2}$  Hb (tinggi balok). Perhitungan kebutuhan bahan campuran beton Populasi 3 berdasarkan pada kebutuhan campuran beton per 1 m<sup>3</sup> dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kebutuhan Campuran Beton untuk 1 Balok Beton Berserat Polimer Panjang Serat 2 cm (Populasi 4)

Parameter	Perhitungan	Nilai
Faktor Air Semen (FAS)		0,48
Volume Balok	0,15 x 0,15 x 0,70	0,016 m <sup>3</sup>
Berat Semen <i>Portland</i>	0,016 x 468,75	7,383 Kg
Berat Pasir	0,016 x 654,50	10,308 Kg
Berat Batu Pecah	0,016 x 981,75	15,463 Kg
Berat Air	0,016 x 225	3,544 Kg
Berat Serat Polimer	1,5% x 7,383	110,742 gr

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

### 5. Kebutuhan Campuran Beton Untuk Populasi 5

Populasi 5 merupakan benda uji balok beton berserat polimer dengan panjang serat polimer 2,5 cm. Benda uji pada populasi ini berjumlah 3 buah berdimensi 15 x 15 x 70 cm. Kadar serat polimer 1,5% sesuai penelitian Yogesh Iyer Murthy (2012) dengan distribusi penyebaran serat pada  $\frac{1}{2}$  Hb (tinggi balok). Perhitungan kebutuhan bahan campuran beton Populasi 3 berdasarkan pada kebutuhan campuran beton per 1 m<sup>3</sup> dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Kebutuhan Campuran Beton untuk 1 Balok Beton Berserat Polimer Panjang Serat 2,5 cm (Populasi 5)

Parameter	Perhitungan	Nilai
Faktor Air Semen (FAS)		0,48
Volume Balok	0,15 x 0,15 x 0,70	0,016 m <sup>3</sup>
Berat Semen <i>Portland</i>	0,016 x 468,75	7,383 Kg
Berat Pasir	0,016 x 654,50	10,308 Kg
Berat Batu Pecah	0,016 x 981,75	15,463 Kg
Berat Air	0,016 x 225	3,544 Kg
Berat Serat Polimer	1,5% x 7,383	110,742 gr

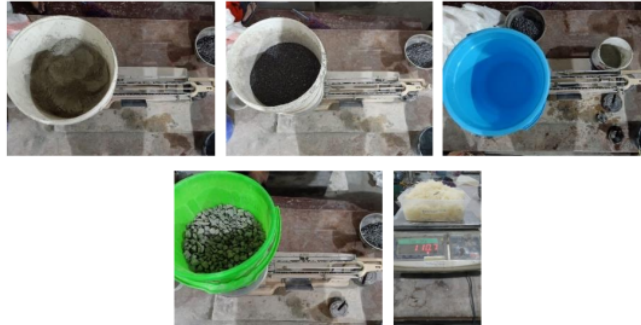
Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

#### 4.4 Pembuatan Benda Uji Balok Beton Berserat Polimer

##### 4.4.1. Proses Pembuatan Benda Uji Balok Beton Berserat

Langkah-langkah membuat benda uji balok beton berdimensi 15 x 15 x 70 cm sebagai berikut:

1. Timbang semen, pasir, air, batu pecah, dan serat polimer sesuai perhitungan mixdesign seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Menimbang Semen, Pasir, Air, Batu Pecah, dan Serat Polimer

2. Siapkan alat seperti cetok, pan, besi penumbuk, dan *mixer* molen seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Alat Cetok, Pan, Besi Penumbuk, dan Mixer Molen

3. Menyalakan mixer mesin molen dan tuangkan  $\frac{1}{2}$  bagian air untuk membasahi permukaan molen. Setelah itu, masukkan batu pecah, pasir dan semen. Setelah semua bahan tercampur rata masukkan sisa air sedikit demi sedikit seperti pada gambar 4.3.



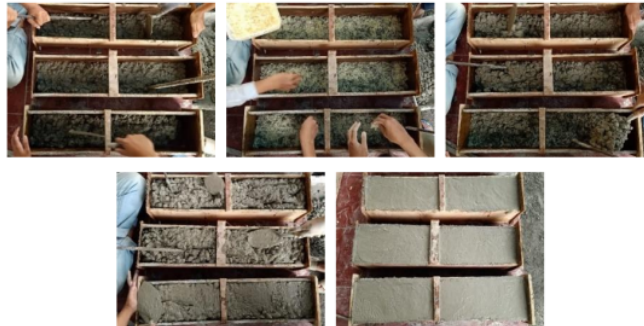
Gambar 4.3 Memasukkan Material ke Dalam Mixer Molen

4. Setelah semua material masuk, tunggu molen berputar selama 2-3 menit hingga adukan beton tercampur rata. Tuang campuran beton ke pan aluminium seperti pada gambar 4.4.



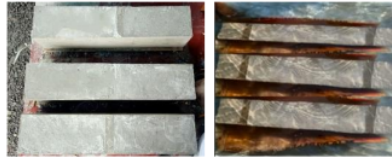
Gambar 4.4 Menuangkan Beton ke Dalam Pan

5. Masukkan campuran beton ke dalam bekisting yang telah diolesi oli. Bagi menjadi 3 bagian. Pertama masukkan campuran beton setinggi  $\frac{1}{4}$  Hb lalu taburi serat dan campur menggunakan cetok. Ulangi langkah hingga  $\frac{1}{2}$  Hb terisi beton serat. Setelah itu tuangkan sisa campuran beton tanpa serat hingga penuh seperti pada gambar 4.5.



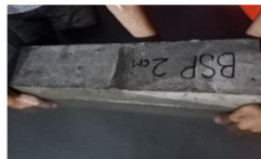
Gambar 4.5 Proses Penyebaran Serat Polimer pada Distribusi  $\frac{1}{2}$  Hb

6. Biarkan beton mengeras selama 24 jam. Buka bekisting dan lakukan perawatan beton dengan cara perendaman selama 7 hari seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Perendaman Balok Selama 7 Hari

7. Setelah 7 hari, angkat benda uji dari rendaman dan biarkan hingga umur beton 28 hari seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Mengeluarkan Benda Uji dari Rendaman

8. Pada umur beton 28 hari, lakukan pengujian kuat lentur balok beton seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Berserat Polimer pada Umur Beton 28 Hari

#### 4.4.2. Pengujian *Slump Test*

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui kekentalan (*workability*) berdasarkan ASTM C143-03 tentang *standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*. Hasil pengujian menggunakan FAS 0,48 memperoleh nilai 12,5 cm. Langkah-langkah pengujian *slump test* sebagai berikut:

1. Letakkan kerucut *abrams* di atas permukaan rata dan sudah dibasahi seperti pada gambar 4.9.





Gambar 4.9 Meletakkan Kerucut Abrams pada Permukaan Rata dan Basah

2. Masukkan beton per 1/3 bagian ke dalam kerucut dan padatkan menggunakan besi penumbuk sebanyak 25 kali. Setelah kerucut penuh, ratakan permukaan kerucut dengan cetok seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Pengujian *Workability* Beton (*Slump Test*)

3. Angkat kerucut perlahan secara vertikal seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pengangkatan Kerucut *Abrams*

4. Letakkan kerucut di samping adukan beton yang runtuh. Setelah itu, letakkan besi penumbuk diatas kerucut *abrams* dan ukur selisih tinggi antara puncak kerucut dengan puncak dari campuran beton menggunakan penggaris. Pada penelitian ini diperoleh angka *slump test* 12,5 seperti pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Pengukuran Nilai *Slump*

#### 4.5 Penguujian Kuat Lentur Balok Beton Berserat Polimer

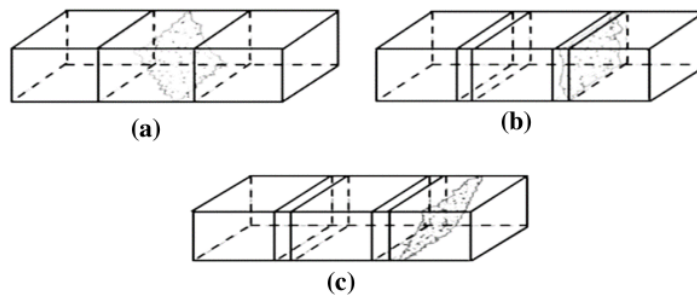
Penguujian kuat lentur beton dilakukan sesuai ASTM C78/C78M tentang *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)* menggunakan *hydraulic concrete beam*. Total jumlah benda uji tiap populasi sebanyak 12 buah balok beton berserat dan 3 buah balok beton normal dengan berdimensi 15 x 15 x 70 cm. perhitungan nilai uji kuat lentur menggunakan persamaan  $f_r = P.L/b.h^2$ .

##### 4.5.1 Mekanisme Keruntuhan Balok Beton Berserat Polimer

Dalam mekanisme keruntuhan balok beton berserat, berdasarkan SNI 4432:2011 tentang cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan terdapat beberapa tipe keruntuhan. Macam tipe pola keruntuhan yaitu:

- Patah di 1/3 bentang tengah
- Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah < 5% dari bentang
- Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah > 5% dari bentang

Tipe pola keruntuhan dapat dilihat pada gambar 4.14.



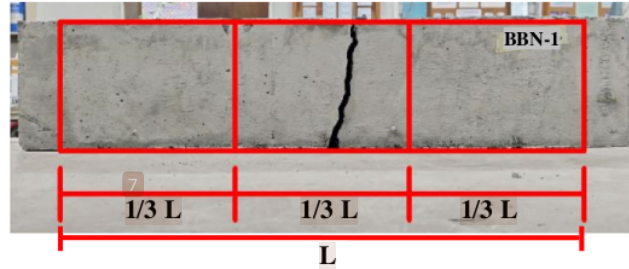
Gambar 4.13 Pola Keruntuhan Lentur Balok Beton

Sumber: SNI 4432:2011 Tentang Cara Uji Kuat Lentur Beton  
Normal dengan Dua Titik Pembebanan

Keterangan:

- Tipe 1 pola keruntuhan lentur balok beton
- Tipe 2 pola keruntuhan lentur balok beton
- Tipe 3 pola keruntuhan geser balok beton

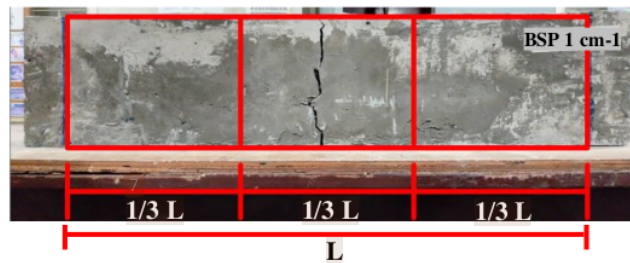
Dari hasil pengujian kuat lentur pada tiap benda uji, mekanisme keruntuhan pada setiap populasi 1, 2, 3, 4, dan 5 terjadi patah di 1/3 bentang tengah (Tipe 1) seperti pada gambar 4.14, gambar 4.15, gambar 4.16, gambar 4.17, dan gambar 4.18.



Gambar 4.14 Pola Keruntuhan Tipe 1 pada Populasi 1 (BBN)

Kuat Lentur Terbesar

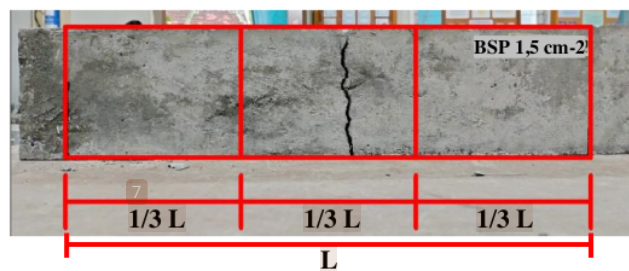
Sumber: Dokumentasi (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.15 Pola Keruntuhan Tipe 1 pada Populasi 2 (BSP 1 cm)

Kuat Lentur Terbesar

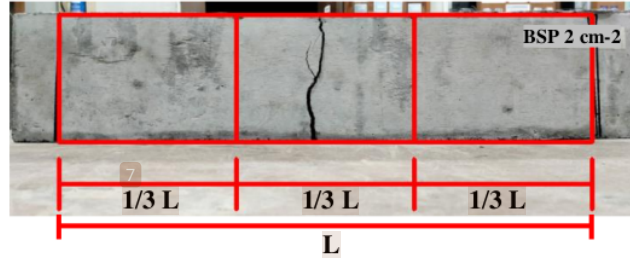
Sumber: Dokumentasi (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.16 Pola Keruntuhan Tipe 1 Populasi 3 (BSP 1,5 cm)

Kuat Lentur Terbesar

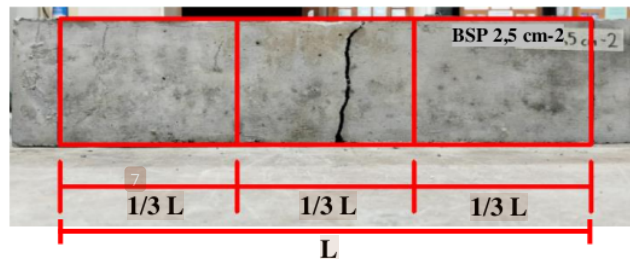
Sumber: Dokumentasi (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.17 Pola Keruntuhan Tipe 1 Populasi 4 (BSP 2 cm)

Kuat Lentur Terbesar

Sumber: Dokumentasi (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.18 Pola Keruntuhan Tipe 1 Populasi 5 (BSP 2,5 cm)

Kuat Lentur Terbesar

Sumber: Dokumentasi (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

#### 4.5.2 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Normal (Populasi 1)

Pengujian kuat lentur balok beton dilakukan dengan alat Hydraulic Concrete Beam sesuai dengan ASTM C78/C78M tentang Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) menggunakan hydraulic concrete beam dilakukan untuk mengetahui beban maksimum pada balok beton saat runtuh. Benda uji balok beton mutu normal tanpa campuran serat berdimensi 15 x 15 x 70 cm sebanyak 3 (tiga) buah. Perhitungan nilai kuat lentur pada Balok Beton Normal (BBN-1) yaitu:

Beban Maksimum (P)	= 2700 Kg
Bentang (L)	= 60 cm
Lebar Penampang (b)	= 15 cm
Tinggi Penampang (d)	= 15 cm

Maka dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f_r = \frac{P.L}{b.d^2}$$

$$f_r = \frac{2700 \times 60}{15 \times 15^2}$$

$$f_r = 48 \text{ kg/cm}^2$$

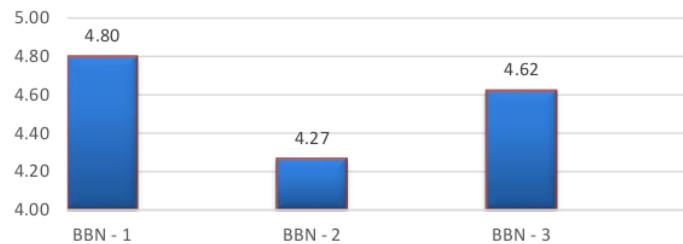
$$f_r = 4,80 \text{ Mpa}$$

Nilai kuat lentur Balok Beton Normal (BBN-1) adalah 4,80 Mpa. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.19.

Tabel 4.10 Kuat Lentur Balok Beton Populasi 1 (Normal)

Kode BU	P (Kg)	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur Rata-rata (Mpa)
BBN - 1	2700	4,80	4,56
BBN - 2	2400	4,27	
BBN - 3	2600	4,62	

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.19 Histogram Kuat Lentur Balok Beton Populasi 1 (Normal)

Berdasarkan tabel 4.10 dan gambar 4.19 diperoleh nilai kuat lentur balok beton normal (BBN) berturut-turut sebesar 4,80 Mpa; 4,27 Mpa; dan 4,62 Mpa. Dari ketiga nilai uji kuat lentur tersebut, nilai rata-rata pada Balok Beton Normal (BBN) adalah 4,56 Mpa.

#### 4.5.3 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Berserat Polimer

Pengujian kuat lentur balok beton dilakukan dengan alat *Hydraulic Concrete Beam* sesuai dengan *ASTM C78/C78M* tentang *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui beban maksimum pada balok beton saat runtuh. Benda uji

balok beton berserat berjumlah 12 buah dengan variasi panjang serat polimer 1 cm; 1,5 cm; 2 cm; dan 2,5 cm. Berdimensi 15 x 15 x 70 cm masing-masing populasi sebanyak 3 (tiga) buah. Perhitungan nilai kuat lentur pada Balok Beton Berserat Polimer (BSP) yaitu:

$$\text{Beban Maksimum (P)} = 2750 \text{ Kg}$$

$$\text{Bentang (L)} = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar Penampang (b)} = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi Penampang (d)} = 15 \text{ cm}$$

Maka dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P.L}{b.d^2}$$

$$\sigma = \frac{2750 \times 60}{15 \times 15^2}$$

$$\sigma = 48,89 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma = 4,89 \text{ Mpa}$$

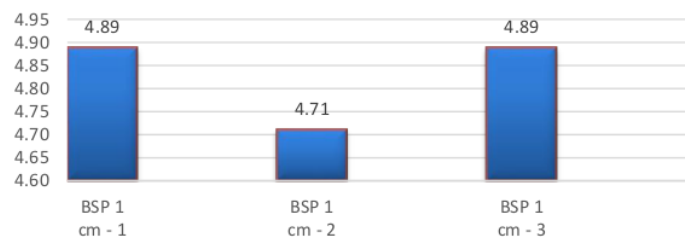
### 1. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Populasi 2 (BSP 1 cm)

Pengujian kuat lentur balok beton berserat polimer pada Populasi 2 dengan variabel panjang serat polimer 1 cm berjumlah 3 buah. Hasil pengujian pada tabel 4.11 dan gambar 4.20.

Tabel 4.11 Kuat Lentur Balok Beton Berserat Populasi 2 (BSP 1 cm)

Kode BU	P (Kg)	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur Rata-rata (Mpa)
BSP 1 cm - 1	2750	4,89	4,83
BSP 1 cm - 2	2650	4,71	
BSP 1 cm - 3	2750	4,89	

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.20 Histogram Kuat Lentur Balok Beton Berserat Populasi 2 (BSP 1 cm)

Berdasarkan tabel 4.11 dan gambar 4.20 diperoleh nilai kuat lentur balok beton berserat Populasi 2 (BSP 1 cm) berturut-turut sebesar 4,89 Mpa; 4,71 Mpa; dan 4,89 Mpa. Dari ketiga nilai uji kuat lentur tersebut, nilai rata-rata pada balok beton berserat polimer Populasi 2 (BSP 1 cm) adalah 4,83 Mpa.

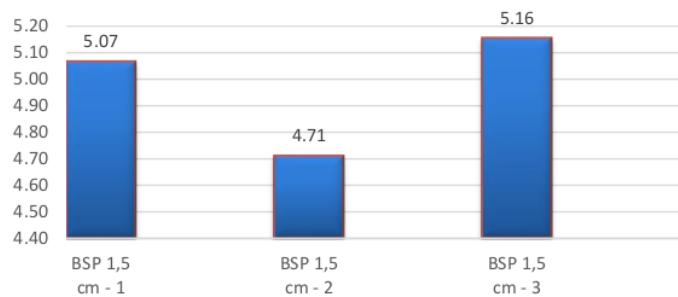
## 2. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Populasi 3 (BSP 1,5 cm)

Pengujian kuat lentur balok beton berserat polimer pada Populasi 3 dengan variabel panjang serat polimer 1,5 cm berjumlah 3 buah. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.12 dan gambar 4.21.

Tabel 4.12 Kuat Lentur Balok Beton Berserat Populasi 3 (BSP 1,5 cm)

Kode BU	P (Kg)	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur Rata-rata (Mpa)
BSP 1,5 cm – 1	2850	5,07	4,98
BSP 1,5 cm – 2	2650	4,71	
BSP 1,5 cm – 3	2900	5,16	

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.21 Histogram Kuat Lentur Balok Beton Berserat Populasi 3 (BSP 1,5 cm)

Berdasarkan tabel 4.12 dan gambar 4.21 diperoleh nilai kuat lentur balok beton berserat Populasi 3 (BSP 1,5 cm) berturut-turut sebesar 5,07 Mpa; 4,71 Mpa; dan 5,16 Mpa. Dari ketiga nilai uji kuat lentur tersebut, nilai rata-rata pada balok beton berserat polimer Populasi 3 (BSP 1,5 cm) adalah 4,98 Mpa.

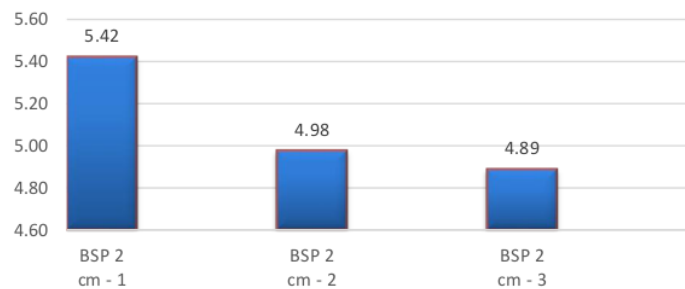
### 3. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Populasi 4 (BSP 2 cm)

Pengujian kuat lentur balok beton berserat polimer pada Populasi 4 dengan variabel panjang serat polimer 2 cm berjumlah 3 buah. Hasil pengujian pada tabel 4.13 dan gambar 4.22.

Tabel 4.13 Kuat Lentur Balok Beton Berserat Populasi 4 (BSP 2 cm)

Kode BU	P (Kg)	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur Rata-rata (Mpa)
BSP 2 cm – 1	3050	5,42	5,10
BSP 2 cm – 2	2800	4,98	
BSP 2 cm – 3	2750	4,89	

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.22 Histogram Kuat Lentur Balok Beton Berserat Populasi 4 (BSP 2 cm)

Berdasarkan tabel 4.13 dan gambar 4.22 diperoleh nilai kuat lentur balok beton berserat Populasi 4 (BSP 2 cm) berturut-turut sebesar 5,42 Mpa; 4,98 Mpa; dan 4,89 Mpa. Dari ketiga nilai uji kuat lentur tersebut, nilai rata-rata pada balok beton berserat polimer Populasi 4 (BSP 2 cm) adalah 5,10 Mpa.

### 1. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Populasi 5 (BSP 2,5 cm)

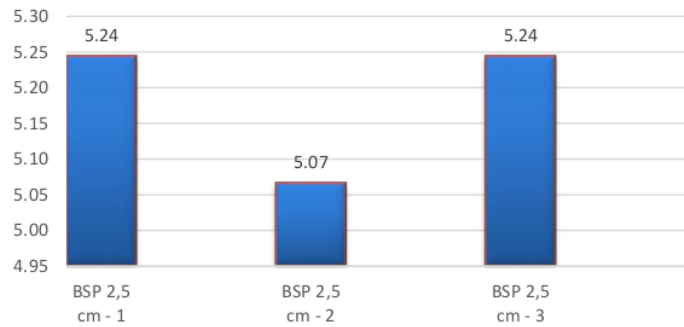
Pengujian kuat lentur balok beton berserat polimer pada Populasi 5 dengan variabel panjang serat polimer 2,5 cm berjumlah 3 buah. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.14 dan gambar 4.23.



**Tabel 4.14 Kuat Lentur Balok Beton Berserat**  
Populasi 5 (BSP 2,5 cm)

Kode BU	P (Kg)	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur Rata-rata (Mpa)
BSP 2,5 cm – 1	2900	5,24	5,19
BSP 2,5 cm – 2	2850	5,07	
BSP 2,5 cm – 3	2950	5,24	

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



**Gambar 4.23 Histogram Kuat Lentur Balok Beton Berserat**  
Populasi 5 (BSP 2,5 cm)

Berdasarkan tabel 4.14 dan gambar 4.23 diperoleh nilai kuat lentur balok beton berserat Populasi 5 (BSP 2,5 cm) berturut-turut sebesar 5,24 Mpa; 5,07 Mpa; dan 5,24 Mpa. Dari ketiga nilai uji kuat lentur tersebut, nilai rata-rata pada balok beton berserat polimer Populasi 5 (BSP 2,5 cm) adalah 5,19 Mpa.

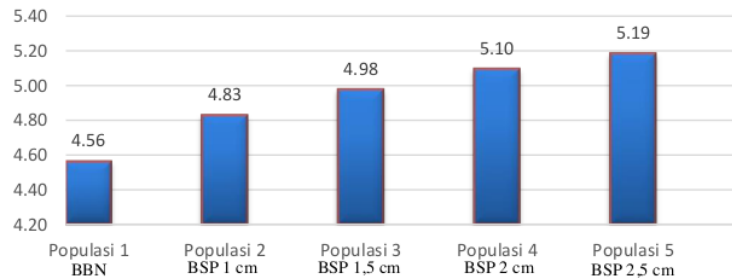
#### 4.6 Hubungan antara Kuat Lentur Balok Beton Rata-Rata

Pada nilai kuat lentur rata-rata setiap populasi dibandingkan antara balok beton normal dengan balok beton berserat untuk mengetahui pengaruh panjang serat polimer terhadap kuat lentur balok beton berserat. Kuat lentur balok rata-rata pada tabel 4.15 dan gambar 4.24.

**Tabel 4.15 Hubungan antara Kuat Lentur Balok Beton Rata-Rata**

Kode BU	Populasi Benda Uji	Kuat Lentur Rata-rata (Mpa)
BBN	Populasi 1	4,56
BSP 1 cm	Populasi 2	4,83
BSP 1,5 cm	Populasi 3	4,98
BSP 2 cm	Populasi 4	5,10
BSP 2,5 cm	Populasi 5	5,19

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



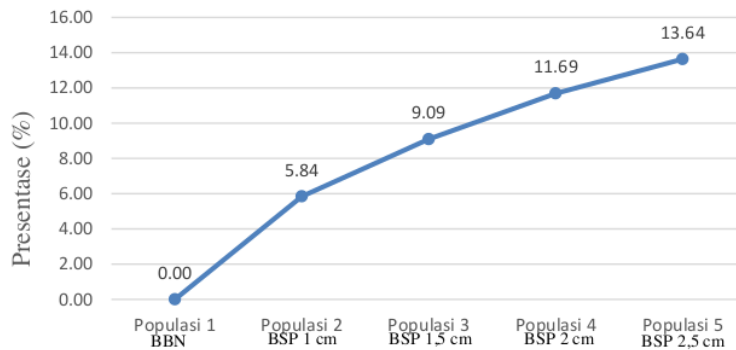
**Gambar 4.24 Histogram Perbandingan Rata-Rata Kuat Lentur Balok Beton Setiap Populasi**

Berdasarkan tabel 4.15 dan gambar 4.24 diperoleh nilai kuat lentur rata-rata balok beton Populasi 1 (BBN) yaitu 4,56 Mpa. Nilai kuat lentur rata-rata balok beton berserat mengalami peningkatan dari yang terbesar berada di Populasi 5 (BSP 2,5 cm) yaitu 5,19 Mpa, Populasi 4 (BSP 2 cm) yaitu 5,10 Mpa, Populasi 3 (1,5 cm) yaitu 4,98 Mpa, dan yang terkecil berada di Populasi 2 (BSP 1 cm) yaitu 4,83 Mpa. Hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh serat polimer dalam meningkatkan kuat lentur. Persentase kenaikan nilai kuat lentur terhadap balok beton tanpa serat dapat dilihat pada tabel 4.16 gambar 4.25.

**Tabel 4.16 Persentase Kenaikan Kuat Lentur Balok Beton Rata-Rata**

Kode BU	Populasi Benda Uji	Persentase (%)
BBN	Populasi 1	0,00%
BSP 1 cm	Populasi 2	5,84%
BSP 1,5 cm	Populasi 3	9,09%
BSP 2 cm	Populasi 4	11,69%
BSP 2,5 cm	Populasi 5	13,64%

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Rata-Rata Kuat Lentur Balok Beton Setiap Populasi

Berdasarkan persentase nilai kuat lentur rata-rata pada tabel 4.16 dan gambar 4.25 dapat disimpulkan bahwa panjang serat polimer pada campuran beton dapat berpengaruh terhadap nilai kuat lentur balok beton. Kenaikan nilai kuat lentur rata-rata terhadap balok beton tanpa serat dari kenaikan terkecil berturut-turut berada pada Populasi 2 (BSP 1 cm) dengan persentase kenaikan 5,84% terhadap balok beton tanpa serat, Populasi 3 (BSP 1,5 cm) dengan persentase kenaikan 9,09% terhadap balok beton tanpa serat, Populasi 4 (BSP 2 cm) dengan persentase kenaikan 11,69% terhadap balok beton tanpa serat, dan yang terakhir kenaikan persentase tertinggi di Populasi 5 (BSP 2,5 cm) dengan persentase kenaikan 13,64% balok beton tanpa serat.

#### 4.7 Perbandingan dengan Penelitian Lain

##### 4.7.1 Perbandingan dengan Balok Beton Serat Polimer Lain

Perbandingan antar variabel lain pada serat polimer seperti variabel panjang serat polimer, kadar serat polimer, dan distribusi serat polimer perlu dilakukan untuk mengetahui variabel dengan nilai kuat lentur terbaik. Perbandingan rata-rata kuat lentur antar variabel panjang serat polimer, kadar serat polimer, dan distribusi serat polimer dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Perbandingan Penelitian antar Balok Beton Variabel Panjang, Kadar, dan Distribusi Serat Polimer Terbesar

Nama	Parameter	Ukuran Benda Uji (cm)	Hasil Nilai Kuat Lentur
Alita Dyah Ayu Pratiwi (2022)	a. Variabel Bebas: Panjang serat 1 cm; 1,5 cm; 2 cm; dan 2,5 cm. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 1,5% d. Distribusi Serat: ½ Hb	15 x 15 x 70 cm	Panjang serat 2,5 cm sebesar 5,19 Mpa
Aqhil Fauzy Risqullah Al Adhim (2022)	a. Variabel Bebas: Kadar serat 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Panjang dan Lebar Serat: 15 mm d. Distribusi Serat: Hb		Kadar serat 1 % sebesar 5,21 Mpa
Wahyuni Necitas Pait (2022)	a. Variabel Bebas: Distribusi serat ¼ Hb, ½ Hb, ¾ Hb. Dan Hb. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 1,5% d. Panjang dan Lebar Serat: 15 x 5 mm		Distribusi serat ½ Hb sebesar 5,16 Mpa

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

Berdasarkan tabel 4.17 penelitian yang dilakukan Alita Dyah Ayu Pratiwi (2022) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di panjang serat polimer 2,5 cm sebesar 5,19 Mpa. Selanjutnya penelitian yang dilakukan Aqhil Fauzy Risqullah Al Adhim (2022) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di kadar serat polimer 1% sebesar 5,21 Mpa. Kemudian penelitian yang dilakukan Wahyuni Necitas Pait (2022) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di distribusi serat polimer ½ Hb sebesar 5,16 Mpa. Maka dapat disimpulkan bahwa variabel serat yang mampu mempengaruhi kenaikan nilai kuat lentur pada balok beton

berserat polimer yaitu variabel kadar serat polimer 1% dengan nilai kuat lentur sebesar 5,21 Mpa.

#### 4.7.2 Perbandingan Penelitian antara Variabel Panjang Serat pada Balok Berserat Polimer dengan Serat Lainnya

Perbandingan antar serat dengan variabel sama perlu dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai kuat lentur pada variabel antar serat polimer, kaca, dan kawat. Perbandingan rata-rata kuat lentur antar variabel panjang serat polimer, serat kaca, dan serat kawat galvanis dapat dilihat pada tabel 4.18.

**Tabel 4.18 Perbandingan Penelitian Nilai Kuat Lentur Rata-Rata antar Variabel Panjang Serat Polimer, Serat Kaca, dan Serat Baja Galvanis Terbesar**

Nama	Serat	Parameter	Ukuran Benda Uji (cm)	Hasil Nilai Kuat Lentur
Alita Dyah Ayu Pratiwi (2022)	Polimer	a. Variabel Bebas: Panjang serat 1 cm; 1,5 cm; 2 cm; dan 2,5 cm. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 1,5% d. Distribusi Serat: ½ Hb	15 x 15 x 70 cm	Panjang serat 2,5 cm sebesar 5,19 Mpa
Arcangela Ayuni Tarang (2022)	Kaca	a. Variabel Bebas: Panjang serat 1,2 cm; 1,8 cm; 2,4 cm; dan 3 cm. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 1,5% d. Distribusi Serat: ½ Hb		Panjang serat 2,4 cm sebesar 5,04 Mpa
Reinha Paramitha S. Lewoema (2022)	Baja Galvanis	a. Variabel Bebas: Panjang serat 6 cm, 12 cm, 18 cm, dan 22 cm. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 10% d. Distribusi Serat: ½ Hb		Panjang serat 22 cm sebesar 6,84 Mpa

Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)

Berdasarkan tabel 4.18 penelitian yang dilakukan Alita Dyah Ayu Pratiwi (2022) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di panjang

serat polimer 2,5 cm sebesar 5,19 Mpa. Selanjutnya penelitian yang dilakukan Arcangela Ayuni Tarang (2022) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di panjang serat kaca 2,4 cm sebesar 5,04 Mpa. Kemudian penelitian yang dilakukan Reinha Paramitha S. Lewoema (2022) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di panjang serat baja galvanis 22 cm sebesar 6,84 Mpa. Maka dapat disimpulkan bahwa variabel panjang serat yang mampu mempengaruhi kenaikan nilai kuat lentur pada balok beton berserat yaitu panjang serat baja galvanis 22 cm dengan nilai kuat lentur sebesar 6,84 Mpa.

#### 4.7.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan balok beton berserat dengan penelitian terdahulu perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh panjang serat polimer yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Perbandingan hasil nilai kuat lentur yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Perbandingan Nilai Kuat Lentur dengan Peneliti Terdahulu

Nama	Serat	Parameter	Ukuran Benda Uji (cm)	Hasil Nilai Kuat Lentur
Alita Dyah Ayu Pratiwi (2022)	Polimer	a. Variabel Bebas: Panjang serat 1 cm; 1,5 cm; 2 cm; dan 2,5 cm. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 1,5% d. Distribusi Serat: $\frac{1}{2}$ Hb	15 x 15 x 70 cm	Panjang serat terbaik 2,5 cm pada kadar serat 1,5% sebesar 5,19 Mpa
Sigit Widianto, dkk (2006)	Polimer	a. Variabel Bebas: Panjang serat 2 cm, 4 cm, dan 6 cm. b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 0,25% dan 0,75% d. Distribusi Serat: -	10 x 10 x 50 cm	Panjang serat terbaik 6 cm pada kadar serat 0,25% sebesar 6,20 Mpa
Anselia Apriliani (2010)	Polimer	a. Variabel Bebas: Panjang serat 1,5 cm dan 2 cm. Diameter 6,5 cm dan 3,5 cm.	-	Panjang serat terbaik 2 cm dan diameter 6,5 cm pada kadar serat

		b. Variabel Terikat: Kuat Lentur c. Kadar Serat: 0,5% dan 1,0% Distribusi Serat: -		1% sebesar 5,30 Mpa.
--	--	--	--	-------------------------

*Sumber: Hasil Penelitian (Alita Dyah Ayu Pratiwi, 2022)*

Berdasarkan tabel 4.19 penelitian yang dilakukan Alita Dyah Ayu Pratiwi (2022) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di panjang serat polimer 2,5 cm pada kadar serat 1,5% sebesar 5,19 Mpa. Selanjutnya penelitian yang dilakukan Sigit Widiyanto, dkk (2006) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di panjang serat polimer 6 cm pada kadar serat 0,25% sebesar 6,20 Mpa. Kemudian penelitian yang dilakukan Anselia Apriliani (2010) memperoleh nilai kuat lentur tertinggi di panjang serat polimer 2 cm berdiameter 6,5 cm pada kadar serat 1% sebesar 5,30 Mpa.

#### **4.8 Pembahasan Hasil Penelitian**

Berdasarkan hubungan hasil nilai kuat lentur rata-rata antara balok beton tanpa serat dengan balok beton berserat pada tabel 4.15, tabel 4.16, gambar 4.26, dan gambar 4.27 panjang serat polimer dapat menaikkan nilai kuat lentur pada balok beton. Nilai kuat lentur balok beton pada Populasi 2 (BSP 1 cm) yaitu 4,83 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 5,84% dari balok beton tanpa serat, Populasi 3 (BSP 1,5 cm) yaitu 4,98 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 9,09% dari balok beton tanpa serat, Populasi 4 (BSP 2 cm) yaitu 5,10 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 11,69% dari balok beton tanpa serat, dan nilai kuat lentur tertinggi di Populasi 5 (BSP 2,5 cm) yaitu 5,19 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 13,64% dari balok beton serat.

Kenaikan nilai kuat lentur beton yang cukup signifikan membuktikan bahwa penambahan serat polimer pada balok beton berserat dengan panjang serat 2,5 cm dipersebaran  $\frac{1}{2}$  Hb mampu menaikkan nilai kuat lentur pada balok beton berserat. Hal ini dikarenakan serat polimer dengan variabel panjang yang disebar pada  $\frac{1}{2}$  Hb (tinggi balok) cukup efektif untuk meningkatkan nilai kuat lentur pada beton berserat. Pada daerah kuat lentur

di  $\frac{1}{2}$  Hb dibawah garis netral, pencampuran serat dapat bekerja dengan maksimal mengisi ruang kosong pada area kuat lentur balok.

Jadi, pada penelitian ini penambahan serat sepanjang 2,5 cm dengan yang di sebar di  $\frac{1}{2}$  Hb mampu memperbaiki nilai kuat lentur pada balok beton berserat sebesar 5,19 Mpa. Sehingga melalui penambahan serat polimer ini dapat memperbaiki kelemahan beton terhadap kuat lentur beton.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **9.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serat polimer dengan variabel konstan distribusi serat  $\frac{1}{2}$  Hb dan variabel bebas panjang serat dapat menaikkan nilai kuat lentur yang cukup signifikan. Pada populasi 1 nilai kuat lentur balok beton tanpa serat sebesar 4,56 Mpa. Pada populasi 2 panjang serat 1 cm diperoleh nilai kuat lentur 4,83 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 5,84% dari balok beton tanpa serat. Pada populasi 3 panjang serat 1,5 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 4,98 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 9,09% dari balok beton tanpa serat. populasi 4 panjang serat 2 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 5,10 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 11,69% dari balok beton tanpa serat. Selanjutnya untuk populasi 5 panjang serat 2,5 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 5,19 Mpa dengan persentase kenaikan sebesar 13,64% dari balok beton tanpa serat.
2. Nilai kuat lentur tertinggi pada campuran balok beton berserat polimer pada panjang serat 2,5 cm dengan nilai kuat lentur 5,19 Mpa.

#### **9.2 Saran**

Berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan agar dapat mengembangkan penelitian lebih lanjut:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan faktor air semen (FAS) yang berbeda.
2. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode penyebaran secara spasial di dalam cetakan. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode pencampuran serat diluar cetakan benda uji kemudian diaduk secara merata dan dimasukkan ke cetakan.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan serat sebagai campuran balok beton pada balok beton bertulang.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* (ACI 211.1-91), American Concrete Institute, Detroit – Michigan.
- American Concrete Institute. (1994). *ACI – Manual of Concrete Practise Part 1, Material and General Properties of Concrete*, American Concrete Institute, Detroit – Michigan.
- Anselia, A., dkk. (2020). *Ketangguhan Lentur Beton SCC dengan Penambahan Serat Nilon*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Astawa, M. D. (2016). *Struktur Beton Fiber (Bagian Materi Struktur Beton I)*. Mitra Sumber Rejeki. Universitas Pembangunan Nasional Veteran. Surabaya. ISBN: 978-602-50526-8-2.
- ASTM C143-03. *Standard Test Method for slump of hydraulic-cement concrete*.
- ASTM C78/78M. (2010). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) 1*. American Society for Testing and Material C78-02 (C): 1-4.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hanafi, Ashad, dkk. (2020). *Kontribusi Serat Fiber dan Polimer Terhadap Sifat-Sifat Mekanik Beton*, Jurnal Teknik Sipil Macca, Sulawesi Selatan.
- Hasanr, H., Tatong B., Tole J. (2013). *Pengaruh Penambahan Polypropylene Fiber Mesh Terhadap Sifat Mekanis Beton*, Mektek Tahun XV, No. 1, Palu.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton* (Edisi Kedua), Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Shanti, Wahyuni, dkk. (2016). *Karakteristik Beton Dengan Penambahan Limbah Serat Nylon dan Polimer Concrete: 24-33*, Jurnal Teknik Sipil Siklus, Vol. 2, No. 1, Pekanbaru.
- Sigit, W., Didik, D., dkk. (2006). *Polypropylene dengan Variasi Panjang Serat terhadap Kekuatan Beton*, Jurusan Teknik Sipil UII, Yogyakarta.
- SK-SNI T-15-03. (1991). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. 1991.

- SNI-03-2847. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002, SNI-03-2847:251.
- SNI 03-4431-1997. (1997). *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*, Pusjatan, Balitbang PU.
- SNI 03-6861.1. (2002). *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. SNI 03-6861.1-2002. 2002.
- SNI-2843-2002. (2002). *Tata Cara atau Metode Perencanaan Campuran Beton Normal*, SNI 2843-2002.
- SNI 2847-2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847:2013. 2013.
- SNI 2847-2019. (2019). SNI 2847-2019: *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung Standar Nasional Indonesia*, 8, 720.
- SNI 4432:2011. (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. 2011.
- Soroushian dan Bayasi. (1987). *Fibre Reinforced Concrete Design and Application*, Seminar Proceeding Composite and Structure Centre, Michigan State University.
- Suhadirman, M. (2011). *Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*, Jurnal Teknik, 2011
- Tanudjaja, H., Pane, F. P., & Windah, R. S. (2015). *Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton*, Jurnal Sipil Statik Vol. 3, No. 5, Manado.
- Tjokrodimulyo, K. (2007). *Buku Ajar Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil UGM, Yogyakarta.
- Y.L., Adiando, D., dkk. (2006). *Penelitian Pendahuluan Hubungan Penambahan Serat Polymeric Terhadap Karakteristik Beton Normal*, Civil Engineering Dimension, Vol.8, No. 1, 25-33, Bandung.
- Yogesh, I. M., dkk. (2012). *Performance of Glass Fiber Reinforced Concrete*.
- Yuri, Khairizal, dkk. (2015). *Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanis Beton*, Jom FTEKNIK, Vol. 2, No. 2, Riau.

ORIGINALITY REPORT

---

17%

SIMILARITY INDEX

12%

INTERNET SOURCES

7%

PUBLICATIONS

11%

STUDENT PAPERS

---

PRIMARY SOURCES

---

1	Submitted to Universitas Merdeka Malang Student Paper	4%
2	e-journal.uajy.ac.id Internet Source	3%
3	dspace.uii.ac.id Internet Source	2%
4	ejournal.unisbablitar.ac.id Internet Source	1%
5	ejournal.uhn.ac.id Internet Source	1%
6	talentasipil.unbari.ac.id Internet Source	1%
7	id.123dok.com Internet Source	1%
8	Submitted to Universitas Negeri Jakarta Student Paper	1%
9	adoc.pub Internet Source	1%

---

10	Submitted to Universitas Tidar Student Paper	1 %
11	repository.umsu.ac.id Internet Source	1 %
12	repositori.usu.ac.id Internet Source	1 %
13	repository.unika.ac.id Internet Source	1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On

FINAL GRADE

**/0**

GENERAL COMMENTS

**Instructor**

---

PAGE 1

---

PAGE 2

---

PAGE 3

---

PAGE 4

---

PAGE 5

---

PAGE 6

---

PAGE 7

---

PAGE 8

---

PAGE 9

---

PAGE 10

---

PAGE 11

---

PAGE 12

---

PAGE 13

---

PAGE 14

---

PAGE 15

---

PAGE 16

---

PAGE 17

---

PAGE 18

---

PAGE 19

---

PAGE 20

---

PAGE 21

---

PAGE 22

---

PAGE 23

---

PAGE 24

---

PAGE 25

---

PAGE 26

---

PAGE 27

---

PAGE 28

---

PAGE 29

---

PAGE 30

---

PAGE 31

---

PAGE 32

---

PAGE 33

---

PAGE 34

---

PAGE 35

---

PAGE 36

---

PAGE 37

---

PAGE 38

---

PAGE 39

---

PAGE 40

---

PAGE 41

---

PAGE 42

---

PAGE 43

---

PAGE 44

---

PAGE 45

---

PAGE 46

---

PAGE 47

---

PAGE 48

---

PAGE 49

---

PAGE 50

---

PAGE 51

---

PAGE 52

---

PAGE 53

---

PAGE 54

---

PAGE 55

---

PAGE 56

---

PAGE 57

---

PAGE 58

---