

**ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH VARIASI UKURAN
PANJANG PADA KAWAT BENDRAT TERHADAP BETON
KONVENSIONAL**

(Skripsi)

Oleh

**M. ALVANY VESCHONANDA R
(1915011033)**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH VARIASI UKURAN PANJANG PADA KAWAT BENDRAT TERHADAP BETON KONVENSIONAL

Oleh

M ALVANY VESCHONANDA RISTAMA

Beton adalah material konstruksi yang terdiri dari campuran bahan-bahan seperti semen, air, dan agregat, yang digunakan dalam berbagai jenis infrastruktur. Beton memiliki nilai kuat tekan yang tinggi namun lemah terhadap gaya tarik. Penambahan kawat bendrat pada beton dilakukan untuk menaikkan nilai kuat tarik dan kuat lentur beton. Penelitian ini menggunakan volume fraksi 0%, 0,75% dan 1,5% dengan menggunakan variasi panjang tiap volume fraksi sebesar 30 mm, 50 mm, dan 70 mm dan bertujuan untuk menganalisis panjang kawat bendrat paling efektif sebagai bahan campuran beton. Pengujian dilakukan pada umur rencana 28 hari dan pengujian kuat tekan menggunakan sampel silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sedangkan pengujian kuat tarik lentur menggunakan sampel balok dengan ukuran 100x100x400 mm. Pada kuat tekan penambahan serat kawat bendrat dinilai tidak efektif dan mengalami penurunan terkecil pada beton volume fraksi 0,75% panjang kawat bendrat 50 mm dengan penurunan sebesar 0,68%. Sedangkan pada kuat tarik lentur penambahan serat kawat bendrat dinilai efektif dan mengalami peningkatan terbesar sebesar 168,39% dari beton normal yaitu pada beton volume fraksi 1,5% dengan panjang kawat bendrat 50 mm.

Kata kunci : beton, serat kawat bendrat, variasi panjang, kuat tekan, kuat tarik lentur.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF LENGTH VARIATION IN BENDRAT WIRE IN CONVENTIONAL CONCRETE

By

M ALVANY VESCHONANDA RISTAMA

Concrete is a construction material consisting of a mixture of ingredients such as cement, water, and aggregates, which is used in various types of infrastructure. Concrete has a high compressive strength value but is weak against tensile strength. The addition of bendrat wire in concrete is done to increase the value of tensile strength and flexural strength of concrete. This research uses volume fractions of 0%, 0,75% and 1,5% by using variations in the length of each volume fraction of 30 mm, 50 mm, and 70 mm and aims to analyze the most effective bendrat wire length as a concrete mix material. Tests were carried out at the planned age of 28 days and the compressive strength test used a cylinder sample with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm while the flexural tensile strength test used a beam sample with a size of 100x100x400 mm. In compressive strength, the addition of bendrat wire fiber is considered ineffective and has the smallest decrease in concrete volume fraction of 0,75% of 50 mm bendrat wire length with a decrease of -0.68%. While in the flexural tensile strength, the addition of bendrat wire fiber is considered effective and has the largest increase of 168.39% from normal concrete, which is on concrete volume fraction of 1,5% with bendrat wire length of 50 mm.

Keywords : concrete, bendrat wire fiber, length variation, compressive strength, flexural tensile strength.

**ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH VARIASI UKURAN
PANJANG PADA KAWAT BENDRAT TERHADAP BETON
KONVENSIONAL**

Oleh

M. ALVANY VESCHONANDA RISTAMA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



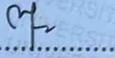
**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

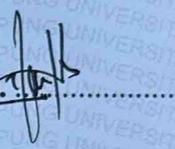
Ketua

: Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.



Sekretaris

: Ir. Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.



Penguji

**Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T.
IPM., ASEAN Eng.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)

NIP.19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 Oktober 2023

**Judul Skripsi : ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH
VARIASI UKURAN PANJANG PADA
KAWAT BENDRAT TERHADAP BETON
KONVENSIONAL**

Nama Mahasiswa : M. Alvany Deschonanda Ristama

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011033

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.

NIP 19721026 200003 1 001

Ir. Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 19740831 200003 2 002

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 19720829 199802 1 001

Ir. Laksmi Irlanti, M.T.

NIP 19620408 198903 2 001

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M. Alvany Veschonanda Ristama

NPM : 1915011033

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul (Analisis Kombinasi Campuran Serat Baja dan Kawat Bendrat pada Beton Konvensional) tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar Pustaka.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 11 Oktober 2023



RIWAYAT HIDUP PENULIS



M. Alvany Veschonanda Ristama dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 06 November 2001. Penulis merupakan putra pertama dari pasangan Bapak H. Aris Susanto S.Ip, M.M. dan Ibu Hi. Esti Comalaria S.E, M.M. Penulis menempuh Pendidikan awal di TK Yustikarini Rajabasa dan Pendidikan SD,SMP, dan SMA di Yayasan Al-Kautsar Bandar Lampung.

Pada tahun 2019, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung melalui jalur UTBK (Ujian Tulis Basis Komputer). Dalam masa perkuliahannya penulis turut serta dalam organisasi kemahasiswaan tingkat Universitas dan Fakultas. Di tingkat Universitas Penulis terdaftar sebagai Anggota Muda Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil HIMATEKS UNILA periode jabatan 2021/2022, serta Anggota Departemen Kerohanian dan Keolahragaan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil HIMATEKS UNILA periode jabatan 2022. Penulis melakukan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gedung Layan Satu Atap Kota Bandar Lampung pada tahun 2022. Pada tahun 2022 Penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) secara daring di Desa Gedong Meneng, Bandar Lampung.

MOTTO HIDUP

“Masalah adalah hal yang akan membuat kita kuat, oleh karenanya hadapi dan jangan lari”

(Alvany Veschonanda)

“With great powers, come’s great responsibility”

(Uncle Ben)

“Family. Sometimes it is shelter from the storm. Sometimes it is the storm itself..”

(Thomas Shelby)

“Bersyukurlah, maka akan kutambah”

(Ibrahim:7)

“Sekecil apapun ciptaan Allah, pasti ada hikmahnya”

(Ust. Adi Hidayat)

“I can do this all day”

(Steve Rogers)

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya.

Skripsi yang berjudul “Analisis Perbandingan Variasi Panjang Kawat Bendrat pada Beton Konvensional” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Pada penyusunan laporan ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, serta pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa (Allah SWT) yang selalu memudahkan segala urusan dan senantiasa memberikan berkah ilmu kepada hambanya.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 skripsi.
6. Ibu Ir. Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2 skripsi.
7. Ibu Dr. Eng Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T.IP.M. ASEAN.Eng selaku Dosen penguji skripsi.

8. Bapak Riki Chandra W, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis.
9. Papah, Mamah, dan Adik yang amat saya cintai yang senantiasa ikhlas mendoakan dan tidak pernah lelah memberikan semangat kepada penulis.
10. Terimakasih kepada Laila Indah Rahmanisa yang telah menemani dalam suka duka dan selalu mendukung saya menjalani hari.
11. Terimakasih Kepada Naufal Abyan yang sudah sepertti saudara saya sendiri selama saya menempuh perkuliahan
12. Terimakasih Kepada Fauzan Ikromi yang selalu menggendong dan membantu saya menyelesaikan tugas dan ujian saya
13. Terima kasih kepada GBT (Apip,Alip,Memeng,Nopal,Ojan,Pepeng) yang juga menemani saya semenjak acara CBR yang lalu, sukses buat kalian!
14. Terimakasih Kepada kawan-kawan discord yang sejak SMA selalu menemani hari hari hidup yang seru ini.
15. Terimakasih kepada Team Lab yang telah bekerja sama dalam proses pembuatan skripsi.

Penulis menyadari bahwa tentunya masih banyak kekurangan yang tak terlepas di dalam penulisan laporan ini. Karena itu, penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak orang. Aamiin.

Bandar Lampung, 2023

Penulis

M. Alvany Veschonanda R

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Beton	6
2.2. Material Penyusun Beton	8
2.2.1. Semen Portland.....	8
2.2.2. Agregat	9
2.2.3. Air.....	11
2.3. Beton Serat	11
2.3.1. Serat Baja	12
2.3.2. Serat Kawat Bendrat.....	13
2.3.3. Serat Polipropilena	14
2.4. Sifat Mekanik Beton.....	15
2.4.1. Kuat Tekan	16
2.4.2. Kuat Tarik Belah	16
2.4.3. Kuat Tarik Lentur	17
2.5. Penelitian Sebelumnya	17
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1. Lokasi Penelitian	23
3.2. Persiapan Alat dan Bahan	23
3.3. Desain Benda Uji	26
3.4. Prosedur Penelitian.....	27

3.4.1. Persiapan Bahan	27
3.4.2. Uji Karakteristik Material	28
3.4.3. Perencanaan <i>Mix Design</i>	29
3.4.4. Pembuatan Benda Uji	30
3.4.5. Pengujian <i>Workability</i> Adukan Beton	30
3.4.6. Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	31
3.4.7. Pengujian Benda Uji	32
3.4.8. Analisis Hasil Pengujian	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1. Umum.....	36
4.2. Keleccakan (<i>workability</i>)	36
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	38
4.4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur	43
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kuat tekan beton.....	2
Gambar 2. Kuat tarik belah beton	3
Gambar 3. Campuran beton serat.....	11
Gambar 4. Jenis-jenis serat baja	13
Gambar 5. Serat kawat bendrat	14
Gambar 6. Serat polipropilena	15
Gambar 7. Grafik hubungan antara <i>volume fraction</i> dengan kuat tekan beton.....	18
Gambar 8. Grafik hubungan <i>volume fraction</i> dengan kuat tarik belah beton.	19
Gambar 9. Grafik hubungan <i>volume fraction</i> dengan kuat lentur beton.....	19
Gambar 10. Grafik hubungan <i>volume fraction</i> dengan kuat tekan beton.	20
Gambar 11. Grafik hubungan <i>volume fraction</i> dengan kuat tarik belah beton.	21
Gambar 12. Grafik hubungan <i>volume fraction</i> dengan kuat tarik lentur beton. ...	22
Gambar 13. Pengujian <i>slump test</i>	31
Gambar 14. Proses perendaman benda uji	31
Gambar 15. Pengujian kuat tekan pada beton	33
Gambar 16. Pengujian kuat lentur pada beton	34
Gambar 17. Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 18. Grafik hubungan <i>volume fraksi</i> dan nilai <i>slump</i>	37
Gambar 19. <i>Slump test</i>	38
Gambar 20. Grafik hubungan antara <i>Volume Fraction</i> dan kuat tekan beton	40
Gambar 21. Pengujian kuat tekan beton	40
Gambar 22. Benda uji kuat tekan beton (a) beton normal (b) beton serat	43
Gambar 23. Grafik hubungan variasi panjang (mm) dengan kuat lentur beton....	45
Gambar 24. Pengujian kuat lentur beton.....	45
Gambar 25. Benda uji kuat tarik lentur	48

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis beton menurut kuat tekannya	6
Tabel 2. Jenis beton menurut berat jenisnya	7
Tabel 3. Spesifikasi jenis kawat	14
Tabel 4. Variasi penambahan kawat bendrat	27
Tabel 5. Data hasil pemeriksaan material	29
Tabel 6. Komposisi Kebutuhan Material per m ³	30
Tabel 7. Nilai <i>Slump</i> Adukan Beton	37
Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	39
Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton.....	44

I. PENDAHULUAN

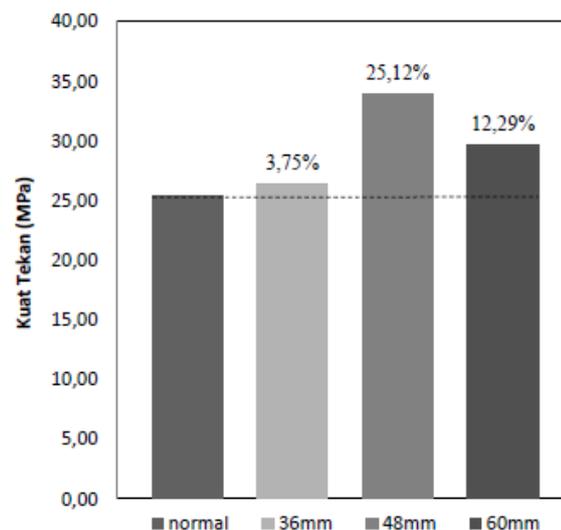
1.1 Latar Belakang

Beton adalah bahan komposit campuran yang tersusun atas campuran semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Beton sangat efektif digunakan dalam pekerjaan konstruksi karena memiliki karakteristik dan kemampuan yang baik untuk segala jenis pekerjaan konstruksi. Sifat beton yang mudah dibentuk membuat beton mampu menjadi bahan utama untuk pekerjaan konstruksi, selain itu beton juga memiliki ketahanan terhadap gaya tekan dengan baik dan mudah dalam perawatannya.

Sudarmoko (1991), melakukan penelitian dan hasilnya menunjukkan bahwa penambahan serat pada jumlah yang tepat (normalnya sampai sekitar 1-5% volume) ke dalam beton normal dapat meningkatkan kekuatan tarik beton secara signifikan. Pada sebuah beton bertulang, kekuatan beton bertulang yang menggunakan campuran serat tidak memiliki perbedaan yang signifikan dari beton bertulang yang tidak menggunakan campuran serat. Meskipun demikian, beton dengan penambahan serat memiliki perbedaan daya tahan retak dan tumbukan yang lebih tinggi dibanding beton tanpa serat.

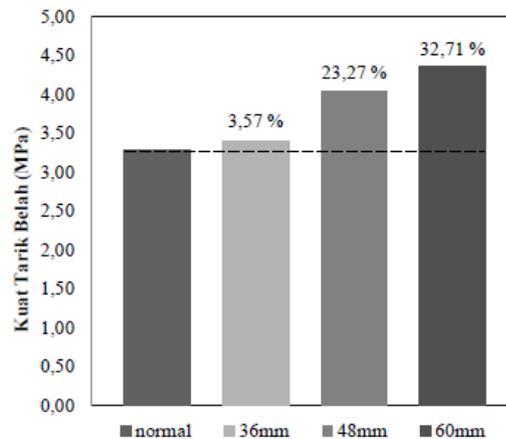
Bahan yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat beton adalah baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), *polymers*, asbes dan *carbon*. Di Indonesia, beton yang menggunakan campuran serat baja (*steel fiber*) untuk struktur bangunan masih asing dan tidak dipakai dalam praktek lapangan. Salah satu sebabnya adalah tidak tersedianya serat baja (*steel fiber*) di Indonesia dan harganya yang relatif mahal.

Nugraha dkk., (2018), melakukan penelitian menggunakan serat kawat bendrat sebagai bahan campuran pada beton serat dengan variasi campuran 36 mm, 48 mm, 60 mm, pada volume fraksi 0,75%. Penelitian tersebut menunjukkan perubahan perilaku beton, beton yang menggunakan campuran serat kawat bendrat menghasilkan kekuatan lebih tinggi dibandingkan beton tanpa serat. Hal ini terlihat dari peningkatan kekuatan yang terjadi pada kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur. Grafik nilai kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kuat tekan beton.

Berdasarkan pada pengujian kuat tekan beton, beton serat 36 mm mengalami peningkatan sebesar 3,75% dari mutu beton rencana 25 MPa, nilai tersebut merupakan nilai terendah dari semua variasi rencana, pada variasi beton serat 48 mm menunjukkan peningkatan kekuatan tekan beton sebesar 25,12% dari beton normal dengan nilai sebesar 33,87 MPa, dan pada variasi beton serat 60 mm juga menunjukkan peningkatan kekuatan tekan sebesar 12,29% dari beton normal dengan nilai sebesar 29,59 MPa.



Gambar 2. Kuat tarik belah beton.

Berdasarkan Gambar 2, nilai kuat tarik belah pada beton normal sebesar 3,28 MPa. Dari hasil ini dapat dilihat peningkatan kekuatan dari beton normal ke beton serat 36 mm sebesar 3,57%, sedangkan pada variasi beton serat 48 mm memiliki nilai sebesar 4,04 MPa, dan pada serat 60 mm menunjukkan nilai sebesar 4,35 MPa. Kesimpulan yang didapatkan adalah variasi beton serat 60 mm yang mendapatkan peningkatan kekuatan terbesar dari semua variasi yang telah dibuat dengan peningkatan kekuatan sebesar 32,71% dari beton normal.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, penelitian ini memiliki tujuan untuk menemukan panjang variasi kawat bendrat yang terbaik dan optimal dari variasi panjang yang diuji, beton dengan nilai kekuatan yang paling besarlah yang dinilai memiliki panjang paling optimal, agar kedepannya penelitian ini dapat menjadi referensi penentuan panjang potongan serat kawat bendrat pada beton.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh campuran variasi panjang kawat bendrat dan volume fraksi terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur beton

konvensional ?

2. Mengetahui berapa panjang kawat bendrat paling efektif untuk digunakan dalam campuran beton untuk kekuatan beton ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka diperlukan adanya tujuan penelitian untuk menjawab rumusan masalah yang terjadi. Tujuan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan kawat bendrat terhadap tingkat kelecakan adukan beton.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *superplasticizer* terhadap nilai *slump* beton.
3. Menganalisis pengaruh variasi panjang dan volume fraksi serat kawat bendrat terhadap nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur pada beton konvensional.
4. Mengetahui panjang serat kawat bendrat paling optimal untuk campuran beton serat.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Material yang digunakan adalah agregat kasar yang berasal dari Tanjungan, agregat halus yang berasal dari Gunung Sugih, dan semen Portland.
2. Serat yang digunakan adalah serat kawat bendrat roll 20 kg (*black annealed iron wire*) B.W.G 21# berdiameter 0,8mm dengan penambahan serat 0,75% dan 1,5% dari volume benda uji yang akan dibuat dengan variasi panjang serat 30 mm, 50 mm, 70 mm.
3. Perencanaan dan perhitungan *Mix Design* dilakukan dengan menggunakan *American Concrete Institute (ACI)* dengan kuat tekan rencana 25 MPa.

4. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton konvensional berumur 28 hari.
5. Analisis kekuatan tekan dan tarik belah pada beton menggunakan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah pada silinder berdimensi 150 x 300 mm sebanyak 21 buah benda uji, sedangkan untuk kekuatan lentur beton menggunakan pengujian kuat lentur pada balok berdimensi 100 x 100 x 400 mm sebanyak 21 buah benda uji, untuk tiap variasi menggunakan benda uji sebanyak 3 buah.
6. Dalam pengujian material dilakukan sesuai dengan acuan ASTM dan untuk pengujian beton dilakukan berdasarkan standar SNI.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah :

1. Menjadi referensi untuk mengetahui perilaku beton normal yang diberi penambahan serat kawat bendrat dengan variasi panjang dan volume fraksi yang berbeda beda.
2. Menemukan panjang optimal untuk penambahan serat kawat bendrat sebagai bahan campuran beton.
3. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan mengenai penambahan serat kawat bendrat terhadap beton normal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton adalah material konstruksi yang terdiri dari campuran bahan-bahan seperti semen, air, dan agregat, yang digunakan dalam berbagai jenis bangunan, jembatan, dan infrastruktur lainnya. Menurut Sugiyanto dan Sebayang (2005) dan Tjokrodimuljo (2007) beton memiliki sifat antara lain:

1. *Durability* (Keawetan)

Merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan.

2. Kuat Tekan

Ditentukan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa (N/mm^2) untuk SKSNI 91 dan standar ACI. Sedangkan British Standar menggunakan benda uji kubus dengan sisi ukuran 150 mm. Jenis beton menurut kuat tekannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis beton menurut kuat tekannya (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Sederhana	Sampai 10 MPa
Beton Normal	15 – 30 MPa
Beton Prategang	30 – 40 MPa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40 – 80 MPa
Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi	> 80 Mpa

Ada beberapa faktor yang menjadi penentu kuat tekan beton diantaranya agregat, umur beton, kepadatan beton, faktor air semen (fas), jenis dan jumlah semen yang digunakan.

3. Kuat Tarik

Nilai kuat tekan beton jauh lebih tinggi dibandingkan nilai kuat tarik, yaitu sekitar 10 % -15 % dari kuat tekannya. Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi pada balok.

4. Berat Jenis

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil normal berat jenisnya antara 2,5 – 2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,5. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat berkurang dari 2,0. Beberapa jenis beton menurut berat jenisnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis beton menurut berat jenisnya (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	< 1,00	Non Struktur
Beton Ringan	1,00 – 2,00	Struktur Ringan
Beton Normal	2,30 – 2,50	Struktur
Beton Berat	> 3,00	Perisai Sinar X

5. Volume Fraksi

Volume Fraksi merupakan suatu kadar dari suatu bahan campuran beton terhadap volume beton yang biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase, semakin tinggi kadar volume fraksi bahan campuran dalam adukan beton maka *workability* suatu adukan beton akan rendah oleh karena itu volume fraksi suatu beton berpengaruh terhadap penggunaan bahan kimia untuk meningkatkan *workability* suatu adukan beton.

2.2. Material Penyusun Beton

Beton terbentuk dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan terkadang beberapa jenis bahan campuran lain.

2.2.1. Semen Portland

Semen Portland adalah semen yang dicampur dengan air dan agregat halus dan kasar yang digunakan untuk membuat beton, semen portland berfungsi untuk memberikan kekuatan, kekakuan, dan daya tahan beton terhadap beban tekan dan lentur yang diberikan. Selain itu semen portland juga berperan dalam mengikat bahan-bahan agregat, memperbaiki sifat aliran beton, dan membantu mengurangi terjadinya retak pada beton.

Menurut SNI 15-2049-2004 tentang semen portland, ada beberapa tipe semen portland, yaitu :

1. Semen Portland Tipe I: Digunakan secara umum dalam konstruksi umum.
2. Semen Portland Tipe II: Mengandung jumlah sedikit sulfat dan digunakan dalam kondisi di mana risiko eksposur terhadap sulfat tinggi.
3. Semen Portland Tipe III: Cepat mengeras dan digunakan dalam proyek dengan jadwal waktu yang ketat.
4. Semen Portland Tipe IV: Direkomendasikan untuk konstruksi dam yang besar.
5. Semen Portland Tipe V: Tahan terhadap sulfat dan digunakan dalam proyek di lingkungan dengan kadar sulfat tinggi.

Dengan memenuhi spesifikasi teknis yang telah ditentukan oleh SNI, maka semen portland dapat digunakan dengan optimal dalam pembuatan beton dan memberikan kinerja yang baik serta tahan lama terhadap beban dan lingkungan yang ekstrim.

2.2.2. Agregat

Agregat adalah bahan-bahan seperti pasir, kerikil, atau batu pecah yang digunakan dalam pembuatan beton, aspal, dan material konstruksi lainnya.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar menurut ASTM C33 adalah bahan yang terdiri dari kerikil, batu pecah, atau campuran keduanya yang memiliki ukuran butiran yang lebih besar dari 4,75 mm (No. 4).

ASTM C33 menetapkan beberapa spesifikasi teknis untuk agregat kasar, diantaranya adalah:

- a. Ukuran butiran agregat kasar harus sesuai dengan tabel ukuran yang ditentukan dalam standar ini.
- b. Agregat kasar harus bersih, kuat, dan tahan terhadap pengaruh lingkungan yang ekstrim.
- c. Agregat kasar harus memenuhi persyaratan fisik dan mekanik tertentu, seperti daya serap air, berat jenis, keausan, dan nilai *Los Angeles Abrasion*.

ASTM C33 juga mengklasifikasikan agregat kasar ke dalam tiga kelas berdasarkan ukuran butiran, yaitu:

- a. Kelas A: Agregat kasar dengan ukuran butiran terbesar antara 19 mm (No. 3/4) dan 37,5 mm (1 1/2 inch).
- b. Kelas B: Agregat kasar dengan ukuran butiran terbesar antara 9,5 mm (3/8 inch) dan 19 mm (No. 3/4).
- c. Kelas C: Agregat kasar dengan ukuran butiran terbesar antara 4,75 mm (No. 4) dan 9,5 mm (3/8 inch).

Pemilihan jenis agregat kasar yang tepat sangat penting dalam pembuatan beton. Dalam memilih agregat kasar, perlu diperhatikan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan dalam standar ASTM C33 serta karakteristik geologi dan sumber daya alam yang tersedia di lokasi konstruksi.

2. Agregat Halus

Agregat halus menurut ASTM C33/C33M-18 adalah bahan yang terdiri dari pasir alam atau pasir buatan yang memiliki ukuran butiran antara 75 mikron (No. 200) hingga 4,75 mm (No. 4).

ASTM C33/C33M-18 menetapkan beberapa spesifikasi teknis untuk agregat halus, diantaranya adalah:

- a. Ukuran butiran agregat halus harus sesuai dengan tabel ukuran yang ditentukan dalam standar ini.
- b. Agregat halus harus bersih, bebas dari kotoran organik, dan bahan-bahan yang dapat mempengaruhi kualitas beton.
- c. Agregat halus harus memenuhi persyaratan fisik dan mekanik tertentu, seperti gradasi, daya serap air, kandungan lumpur, dan keausan.

ASTM C33/C33M-18 juga mengklasifikasikan agregat halus ke dalam empat kelas berdasarkan ukuran butiran, yaitu:

- a. Kelas A: Agregat halus dengan ukuran butiran terbesar antara 4,75 mm (No. 4) dan 2,36 mm (No. 8).
- b. Kelas B: Agregat halus dengan ukuran butiran terbesar antara 2,36 mm (No. 8) dan 1,18 mm (No. 16).
- c. Kelas C: Agregat halus dengan ukuran butiran terbesar antara 1,18 mm (No. 16) dan 300 mikron (No. 50).
- d. Kelas D: Agregat halus dengan ukuran butiran terbesar antara 300 mikron (No. 50) dan 75 mikron (No. 200).

Pemilihan jenis agregat halus yang tepat juga sangat penting dalam pembuatan beton. Dalam memilih agregat halus, perlu diperhatikan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan dalam standar ASTM C33/C33M-18.

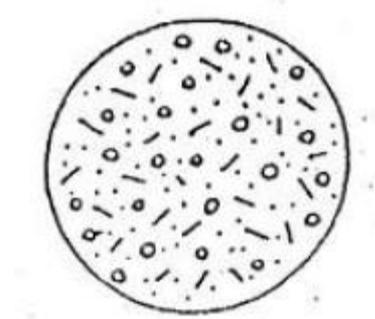
2.2.3. Air

Air adalah zat yang berbentuk cairan, jernih, tidak berwarna, dan bebas dari partikel padat atau zat-zat terlarut yang dapat mempengaruhi pengukuran atau analisis laboratorium.

2.3. Beton Serat

Beton serat adalah jenis beton yang dicampur dengan serat tambahan, seperti serat baja, serat kaca, atau serat polipropilena, untuk meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanannya terhadap retak. Dalam beton serat, serat-serat tersebut tersebar secara merata di dalam campuran beton dan membentuk jaringan yang membantu mencegah terjadinya retak atau keretakan pada beton.

Menurut ACI 544.4 tentang beton serat, penentuan panjang campuran serat pada beton harus memiliki nilai ratio (l/d) antara 50 sampai 100. Penggunaan beton serat dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton terhadap beban tarik, tekan, dan geser. Beton memiliki sifat tidak mampu menahan gaya tarik dan lentur berlebih, dan hal itu dapat diminimalisir oleh beton serat. Gambar campuran beton serat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Campuran beton serat (Zhafira ,2017).

Beton serat banyak digunakan dalam berbagai proyek konstruksi, seperti jembatan, jalan tol, gedung-gedung tinggi, pelabuhan, dan lapangan terbang. Penggunaannya dapat membantu meningkatkan kekuatan dan ketahanan konstruksi terhadap beban dan pengaruh lingkungan, sehingga dapat

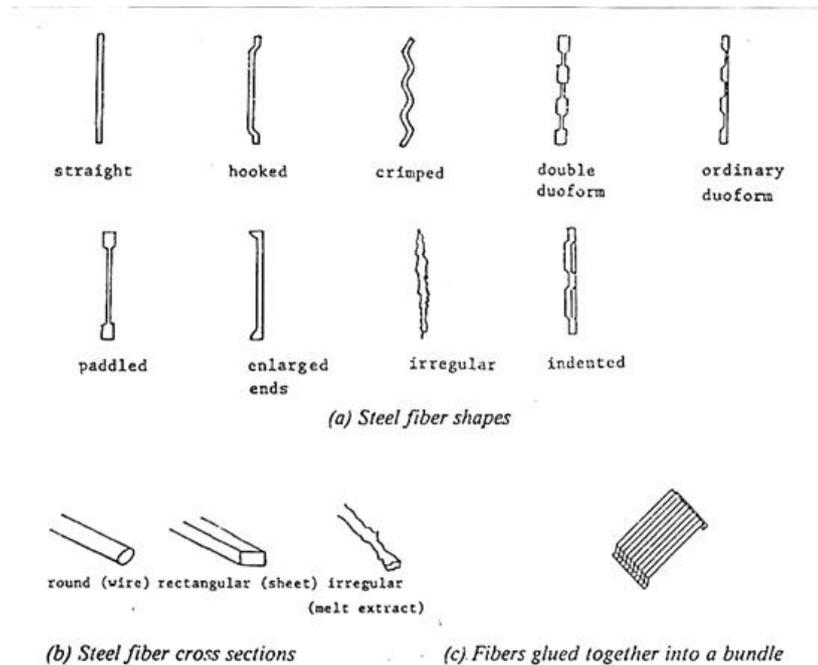
meningkatkan kualitas dan keamanan konstruksi. Berikut merupakan jenis-jenis serat yang umum digunakan sebagai campuran beton.

2.3.1. Serat Baja

Penggunaan serat baja sebagai campuran beton konstruksi dilatarbelakangi oleh kebutuhan untuk meningkatkan sifat mekanik dan keandalan beton dalam memenuhi tuntutan kinerja struktur. Beton normal memiliki sifat yang relatif rapuh dan cenderung retak ketika dikenakan tekanan atau torsi yang berlebihan. Retakan kecil ini dapat berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius dan akhirnya menyebabkan keruntuhan struktur.

Penambahan serat baja ke dalam campuran beton dapat meningkatkan kemampuan beton untuk menahan tegangan dan mencegah retak kecil dari membesar dan merusak struktur. Serat baja juga dapat meningkatkan kekuatan tarik beton dan memperpanjang umur pakai struktur.

Menurut Soroushian & Bayasi (1991), ada beragam jenis bentuk serat baja sebagai campuran beton yaitu lurus (*straight*), berkait (*hooked*), bergelombang (*crimped*), double duo form, ordinary duo form, bundel (*paddled*), kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*), tidak teratur (*irregular*), dan bergigi (*idented*). Sedangkan terdapat beberapa jenis penampang serat baja, yaitu lingkaran (*round/wire*), persegi/lembaran (*rectangular/sheet*), tidak teratur/bentuk dilelehkan (*irregular/melt extract*), dan Serat yang dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fibers glued together into a bundle*). Gambar jenis-jenis serat baja terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Jenis-jenis serat baja (Soroushian & Bayasi, 1991)

2.3.2. Serat Kawat Bendrat

Kawat bendrat atau disebut juga kawat beton merupakan salah satu jenis bahan campuran yang sering digunakan pada beton konstruksi. Konsep penggunaan kawat bendrat pada beton adalah untuk meningkatkan kekuatan tarik beton dan mencegah terjadinya retak pada beton.

Menurut Hafiz dkk., (2015) kawat bendrat digunakan dalam campuran beton karena kawat bendrat mempunyai kuat tarik sebesar $38,5 \text{ N/mm}^2$. Perpanjangan saat putus $5,5 \%$ dan berat jenis $6,68$ dan bila dibandingkan dari segi harga kawat bendrat lebih murah dari harga kawat baja dan kawat biasa sehingga kawat bendrat sangat potensial digunakan dalam penambahan kepada beton. Spesifikasi serat kawat bendrat bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi jenis kawat (Surendro, 2000)

Jenis Kawat	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan saat putus (%)	<i>Spesific Gravity</i>
Kawat Baja	2300	10,5	7,77
Kawat Bendrat	385	5,5	6,68
Kawat Biasa	250	30	7,70

Kawat bendrat akan membentuk jaringan dalam beton sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik beton secara keseluruhan. Selain itu, kawat bendrat juga mencegah terjadinya retak pada beton yang disebabkan oleh gaya tarik yang terjadi pada permukaan beton. Serat kawat bendrat dapat dilihat seperti Gambar 5.



Gambar 5. Serat kawat bendrat

2.3.3. Serat Polipropilena

Menurut ACI (*American Concrete Institute*), beton serat polipropilena termasuk dalam kategori beton serat yang dikenal sebagai *fiber-reinforced concrete* (FRC). ACI memberikan pedoman dan rekomendasi untuk penggunaan beton serat polipropilena dalam ACI 544.3R-08, yang merupakan laporan ACI tentang beton serat polipropilena.

Berikut adalah beberapa poin penting yang disebutkan dalam ACI 544.3R-08 terkait beton serat polipropilena :

1. ACI merekomendasikan penambahan serat polipropilena dalam jumlah tertentu berdasarkan volume beton. Biasanya, persentase serat berkisar antara 0,1 hingga 0,3% volume beton.
2. Serat polipropilena yang digunakan dalam beton serat polipropilena harus memiliki panjang minimal 6 mm dan diameter kurang dari 0,3 mm.
3. Serat polipropilena harus didistribusikan secara merata di seluruh campuran beton. Distribusi serat yang baik akan membantu meningkatkan kinerja beton dalam mengontrol retakan dan meningkatkan kekuatan.

Serat kawat polipropilena dapat dilihat seperti Gambar 6.



Gambar 6. Serat polipropilena

2.4. Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanik beton digunakan untuk mengidentifikasi kualitas dari suatu beton. Sifat mekanis beton meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur. Menurut SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung adalah sebagai berikut:

2.4.1. Kuat Tekan

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan tekanan sebagai persyaratan minimum yang harus dipenuhi untuk keperluan konstruksi. Kuat tekan beton diberi notasi dengan f^c , yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus di persamaan 1 :

$$f^c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

f^c = Kuat tekan beton/beton serat (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas penampang silinder (mm^2)

2.4.2. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah atau *tensile strength* pada beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tarik sebelum terjadi keretakan atau retak. Menurut SNI 03-2847-2002, kuat tarik belah beton didefinisikan sebagai kuat tarik maksimum yang dicapai pada saat beton mengalami kehancuran dalam pengujian tarik belah. Pengujian tarik belah dilakukan dengan cara memberikan beban tarik pada benda uji beton yang telah dihaluskan pada permukaan tariknya hingga terjadi keretakan atau retak pada beton. Kuat tarik belah beton dinyatakan dalam satuan Newton per meter persegi (N/mm^2) atau Megapascal (MPa). Nilai kuat tarik belah dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$f_t = \frac{2.P}{\pi.L.S.D} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

f_t = Kuat tarik belah beton (MPa)

P = Beban maksimum yang diberikan (N)

L_s = Tinggi silinder (mm)

D = Diameter silinder (mm)

2.4.3. Kuat Tarik Lentur

Kuat Tarik Lentur Beton adalah kemampuan beton untuk menahan tekanan di sepanjang bidang lentur atau patahan. Dalam pengujian kuat tarik lentur, beton akan diberi beban pada area yang telah ditentukan hingga terjadi patah. Kemudian, kuat tarik lentur dihitung berdasarkan nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton sebelum patah. Nilai kuat lentur beton dapat dihitung dengan persamaan 3 (SNI 4431-2011):

$$\sigma_t = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

σ_t = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (N)

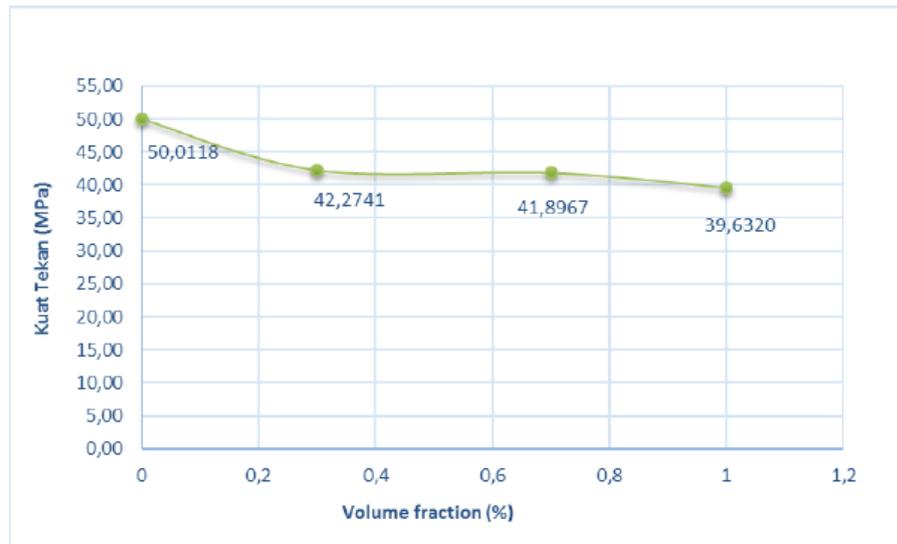
L = Jarak antara 2 (dua) garis perletakan (mm)

2.5. Penelitian Sebelumnya

Merujuk pada jurnal Hidayat dkk., (2018) yang berjudul Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Mutu Tinggi Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Dan Kuat Lentur didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

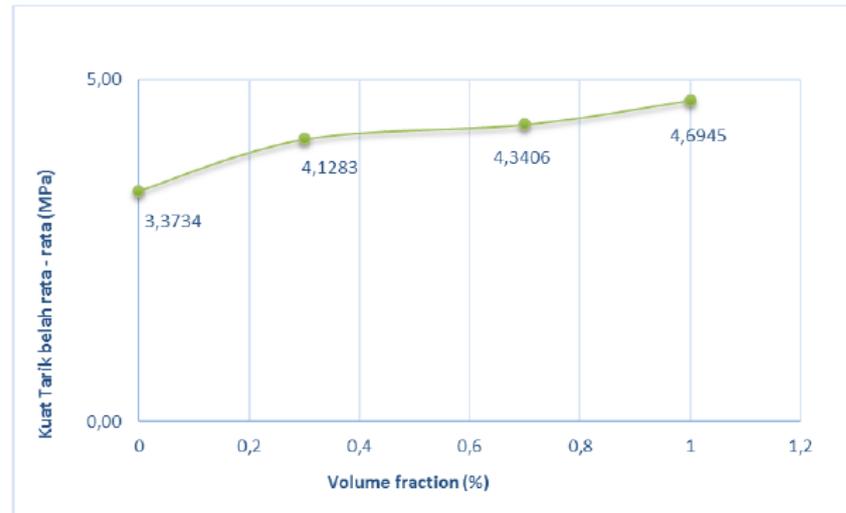
1. Pada pengujian rata – rata kuat tekan beton tanpa serat pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 50,0118 MPa sedangkan kuat tekan rata – rata beton

serat pada *volume fraction* 0,3% sebesar 42,2741 MPa , *volume fraction* 0,7 % sebesar 41,8967 MPa, dan *volume fraction* 1 % sebesar 39,6320 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat, seperti dapat dilihat pada Gambar 7.



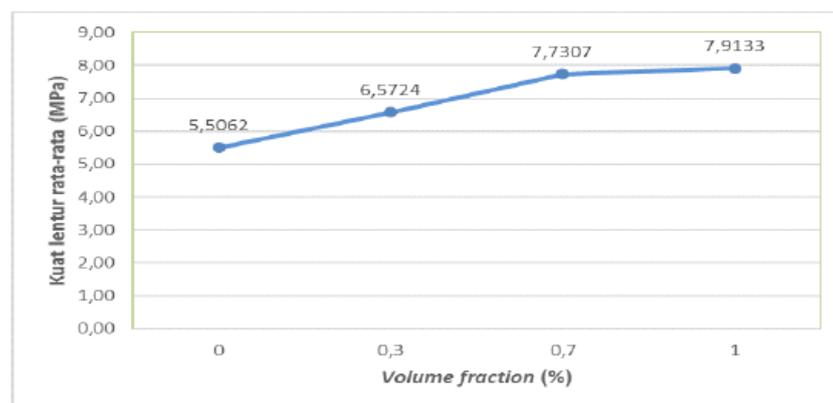
Gambar 7. Grafik hubungan antara *volume fraction* dengan kuat tekan beton (Hidayat dkk., 2018).

2. Pada pengujian rata – rata kuat tarik belah beton tanpa serat pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 3,3734 MPa. Sedangkan kuat tarik belah rata – rata beton serat pada *volume fraction* 0,3% sebesar 4,1283 MPa , *volume fraction* 0,7 % sebesar 4,3406 MPa, dan *volume fraction* 1 % 4,6945 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat, seperti dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan *volume fraction* dengan kuat tarik belah beton (Hidayat dkk., 2018).

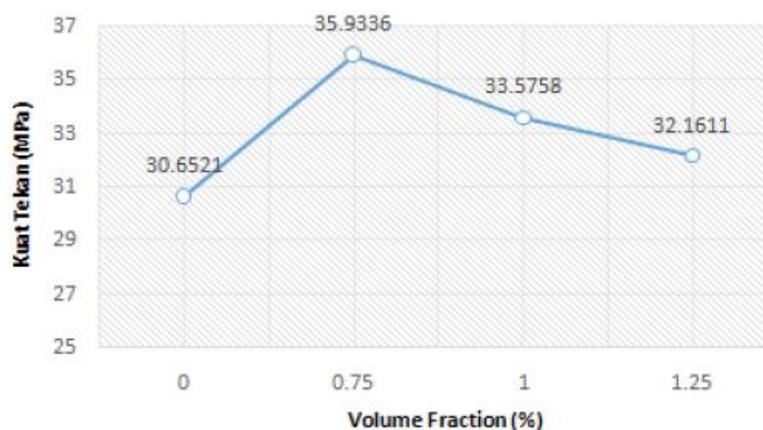
3. Pada pengujian kuat lentur balok beton bertulang tanpa serat didapat nilai kuat lentur rata – rata sebesar 5,5062 MPa. Sedangkan nilai kuat lentur rata – rata beton serat pada *volume fraction* 0,3 % sebesar 6,5724 MPa, *volume fraction* 0,7 % sebesar 7,7307 MPa, dan *volume fraction* 1 % sebesar 7,9133 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat. Seperti dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan *volume fraction* dengan kuat lentur beton (Hidayat dkk., 2018).

Zhafira dkk., (2017) telah melakukan penelitian Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Kuat Lentur Pada Campuran Beton Dengan Penambahan Serat Kawat Bendrat Berkait. Pada penelitian yang dilakukan Panjang kawat yang digunakan adalah 60 mm dengan dengan empat variasi *volume fraction* 0%, 0,75%, 1,0% dan 1,25% dan didapat kesimpulan bahwa kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur maksimal terjadi pada beton serat dengan *volume fraction* 0,75% dan menurun pada *volume fraction* 1,0% dan 1,25%.

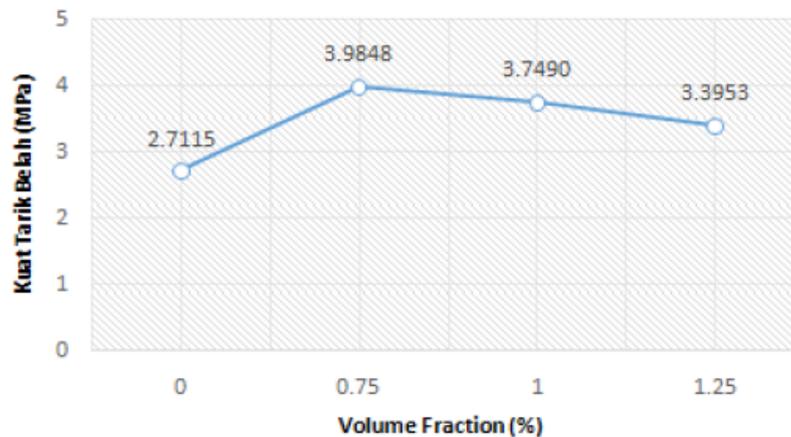
1. kuat tekan maksimum beton diperoleh pada volume fraction 0,75% yaitu sebesar 35,9336 MPa kemudian hasil menurun pada penambahan volume fraksi 1,0% dan 1,25%. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya volume fraksi maka akan menyebabkan serat saling mengikat sehingga menyebabkan sulitnya pergerakan agregat kemudian terjadi *balling effect*. Penambahan serat pada beton dapat mengikat beton sehingga membuktikan bahwa dengan menambahkan serat kawat bendrat kedalam adukan beton dapat membuat beton menjadi lebih daktil. Hasil pengujian kuat tekan beton serat bendrat berkait dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hubungan antara volume fraction dengan kuat tekan beton (Zhafira dkk., 2017).

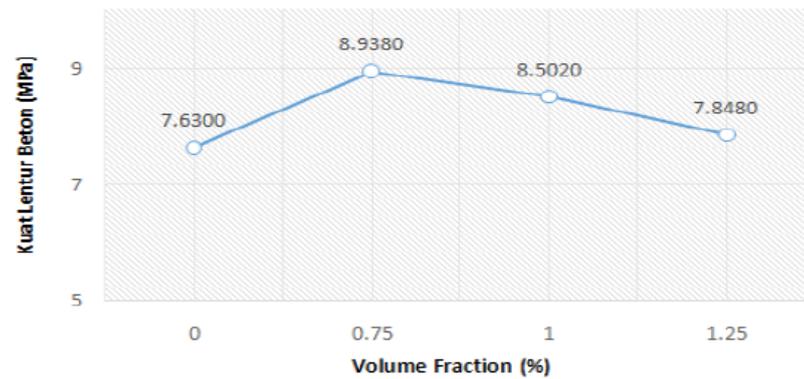
2. Penambahan serat bendrat berkait volume fraksi 0,75% dalam adukan beton menghasilkan kuat tarik belah tertinggi sebesar 3,9848 MPa dan mengalami peningkatan sebesar 46,9565% dari kuat tarik

belah beton tanpa serat. Grafik hubungan antara volume fraksi dengan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan *volume fraction* dengan kuat tarik belah beton (Zhafira dkk., 2017).

3. Berdasarkan tabel hasil pengujian kuat lentur yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa kuat lentur balok beton tertinggi terdapat pada volume fraksi 0,75 % yaitu sebesar 8,9380 MPa dan mengalami peningkatan sebesar 18,4871% dari beton tanpa serat yaitu 7,5428 MPa. Pada beton normal gaya lentur yang terjadi hanya ditahan oleh beton sendiri, sedangkan pada beton serat gaya tarik yang terjadi ditahan secara bersama-sama oleh beton dan serat bendrat berkait sehingga kuat lentur yang terjadi pada beton serat meningkat. Grafik hubungan antara volume fraction dengan kuat tarik lentur beton dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik hubungan volume fraction dengan kuat tarik lentur beton (Zhafira, 2017).

Faizah dkk., (2017) telah melakukan penelitian mengenai Perbandingan Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Lurus (*Straight*) Dengan Serat Bendrat Berkait (*Hooked*) Terhadap Perilaku Beton Dengan Beban Tekan Berulang. Menggunakan serat kawat bendrat dengan volume fraksi 0,75% dengan panjang 60 mm dan menggunakan bahan campuran *superplasticizer* sebanyak 0,8% dari berat semen dengan tujuan agar memberi dampak pada *workability* beton, namun pada hasil yang didapat penambahan bahan kimia tidak memberi dampak yang terlalu signifikan, hal ini dapat dilihat dari nilai *VB-time* yang besar dan nilai *slump* yang tidak sesuai dengan rencana.

Pada penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan kuat tekan beton, kuat tarik belah, dan kuat lentur tertinggi dengan menggunakan pembebanan berulang, terjadi pada beton dengan penambahan serat kawat bendrat berkait (*hooked*), yaitu masing-masing sebesar 34,5189 MPa, 3,2067 MPa, dan 8,9380 MPa. Namun nilainya tidak mengalami peningkatan yang cukup signifikan antara variasi serat bendrat lurus (*straight*) dengan serat bendrat berkait (*hooked*).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang menggunakan beton serat sebagai benda uji penelitian, serat yang digunakan adalah serat kawat bendrat dengan panjang bervariasi yaitu 30 mm, 50 mm, dan 70 mm dengan v_f 0,75% dan 1,5%. Dari pengujian yang akan dilakukan maka akan didapatkan nilai kekuatan terbesar dari variasi yang telah diteliti.

Pada penelitian yang dilakukan terdapat 2 pengujian, yaitu kuat tekan dan kuat lentur dan masing masing pengujian memiliki 21 benda uji dimana total benda uji yang akan dibuat adalah 42 benda uji, benda uji tersebut akan dilakukan pengujiannya saat benda uji berumur 28 hari.

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.

3.2. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan hal yang pertama dilakukan. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini :

1. Alat yang digunakan

Alat berupa peralatan yang digunakan selama melakukan penelitian inti :

a) Timbangan

Timbangan yang digunakan pada persiapan dan pelaksanaan ini adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 dengan kapasitas maksimum 30 kg.

- b) Kontainer
Kontainer adalah aluminium yang berbentuk persegi dan berfungsi sebagai sebagai wadah atau tempat untuk agregat.
- c) *Picnometer*
Picnometer digunakan sebagai alat untuk menguji kandungan zat organik dalam pasir.
- d) Kerucut Pasir
Kerucut pasir yang sering juga disebut kerucut abrams ini berfungsi sebagai alat untuk pengujian kondisi SSD agregat halus.
- e) Saringan ASTM
Diameter saringan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 37,5 mm; 25 mm; 19 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan. Alat tersebut digunakan untuk memisahkan ukuran agregat kasar untuk memastikan berat sesuai data perhitungan untuk setiap benda uji beton.
- f) Oven
Oven digunakan untuk memanaskan ataupun mengeringkan bahan-bahan saat pengujian material agar mendapatkan data yang diinginkan.
- g) *Concrete Mixer*
Concrete mixer dalam penelitian ini berupa mesin molen mini yang memiliki kapasitas maksimal yaitu $0,125 \text{ m}^3$ dengan kecepatan 20-30 putaran permenit.
- h) Satu set alat pengujian *Slump*
Alat yang digunakan yaitu satu buah kerucut abrams berdiameter atas 102 mm, diameter bawah 203 mm, tinggi 305 mm dan *base plate* setebal 3 mm dengan ukuran 900 x 900 mm.
- i) Meteran
Meteran digunakan untuk mengukur tinggi adukan beton pada saat pengujian *slump flow*.
- j) Cetakan Benda Uji
Bekisting digunakan untuk mencetak beton sesuai dengan bentuk dan

kebutuhannya. Bekisting yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dan balok berukuran 400 x 100 x 100 mm.

k) Bak perendam

Bak perendam digunakan untuk proses curing beton SCC yang bertujuan menjaga kelembaman agar beton tidak cepat kehilangan air.

l) *Compressing Testing Machine (CTM)*

Mesin CTM digunakan sebagai alat uji kuat tekan untuk benda uji kubus, dan uji kuat tarik belah pada benda uji silinder. Mesin CTM yang digunakan pada penelitian ini berasal dari merek dagang CONTROLS dengan kapasitas beban maksimal 3000 kN.

m) *Universal Testing Machine (UTM)*

Penggunaan UTM menggunakan *Hydraulic Jack* untuk mendongkrak beban, agar beban yang didongkrak memberikan tekanan (beban) ke *proving ring*. Kemudian *proving ring* akan membaca beban yang diterima untuk kemudian diteruskan ke benda uji balok hingga benda uji balok mengalami patah. Alat yang digunakan ini berasal dari merek dagang ENERPAC dengan beban maksimal 80 Ton digunakan untuk pengujian kuat lentur balok.

2. Bahan yang digunakan

a) Air

Pada penelitian ini, air diperoleh dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

b) Semen Portland

Pembuatan beton dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan semen portland dengan merek dagang Semen Padang.

c) Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang diperoleh dari Tanjungan, Lampung Selatan.

d) Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang

diperoleh dari Gunung Sugih, Lampung Tengah. Secara visual, pasir ini memiliki tekstur yang relatif bulat dan berwarna coklat keputihan.

e) Serat

Serat yang digunakan dalam penelitian kali ini ada dua, yaitu kawat bendrat dengan panjang bervariasi 30 mm, 50 mm, dan 70 mm.

f) *Superplasticizer*

Superplasticizer adalah bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen, sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workability. Penggunaan *superplasticizer* dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya pemisahan (segregasi). Dalam penelitian ini *superplasticizer* yang ditambahkan kedalam campuran sebanyak 1% dari berat semen. *Superplasticizer* yang digunakan yaitu produk MBI-261. Bahan kimia ini termasuk *Superplasticizer* tipe F yaitu *High Range Water Reducer (HRWR)* yang merupakan bahan kimia yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan air.

3.3. Desain Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm serta balok dengan ukuran 100 x 100 x 400 mm. Total benda uji yang digunakan adalah 42 buah dimana 21 buah untuk pengujian kuat tekan dan 21 buah untuk pengujian kuat lentur. Pembuatan benda uji ini meliputi beton normal, beton serat panjang 30 mm, beton serat panjang 50 mm, dan beton serat 70 mm dengan volume fraksi 0.75% dan 1,5%. Desain variasi benda uji disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi penambahan kawat bendrat

Volume Fraksi	Jenis Pengujian	Variasi Panjang Kawat Bendrat (mm)	Jumlah Sampel (buah)
0%	Kuat Tekan	0	3
	Kuat Tarik Lentur	0	3
0,75%	Kuat Tekan	30	3
		50	3
	Kuat Tarik Lentur	70	3
		30	3
	Kuat Tarik Lentur	50	3
		70	3
1,5%	Kuat Tekan	30	3
		50	3
	Kuat Tarik Lentur	70	3
		30	3
	Kuat Tarik Lentur	50	3
		70	3
TOTAL			42

3.4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari delapan tahap, yaitu persiapan bahan, uji karakteristik material, perencanaan *mix design*, pembuatan benda uji, pengujian *workability* adukan beton, pemeliharaan (*curing*), pengujian benda uji, dan analisis hasil pengujian.

3.4.1. Persiapan Bahan

Pada tahap persiapan bahan-bahan yang akan diuji dipersiapkan mulai dari alat maupun material yang akan digunakan termasuk memotong kawat bendrat sesuai dengan variasi yang direncanakan yaitu 30 mm, 50 mm, dan 70 mm. Material yang digunakan harus dalam kondisi SSD dan harus memenuhi standar minimum yang telah ditetapkan ASTM.

3.4.2. Uji Karakteristik Material

Pada tahap ini bahan material yang akan digunakan akan diuji untuk mengetahui data dan karakteristik dari material. Layak atau tidaknya material menjadi bahan campuran penelitian, dan data data yang dihasilkan akan mempengaruhi perhitungan *mix design* yang akan dilakukan, yang nantinya akan berpengaruh terhadap kualitas beton itu sendiri.

Pengujian dilakukan untuk semua jenis material yang digunakan pada proses pembuatan beton, antara lain pengujian agregat halus, pengujian agregat kasar, dan juga pengujian semen. Pengujian dilakukan sebagai berikut :

- a) Pengujian Agregat Halus
 - 1) Kadar air agregat halus (ASTM C 566-78)
 - 2) Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C 128-98)
 - 3) Gradasi agregat halus (ASTM C 33-93)
 - 4) Kadar lumpur agregat halus dengan saringan (ASTM 117-80)
 - 5) Kandungan zat organik dalam pasir (ASTM C 40-92)
 - 6) Berat volume agregat halus (ASTM C 29)
- b) Pengujian Agregat Kasar
 - 1) Kadar air agregat kasar (ASTM C 556-78)
 - 2) Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (ASTM C 127-88)
 - 3) Gradasi agregat kasar (ASTM C 33-93)
 - 4) Berat volume agregat kasar (ASTM C 29)
- c) Pengujian semen
 - 1) Berat jenis semen
 - 2) Waktu pengikatan semen

Hasil pengujian material agregat kasar dan halus akan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data hasil pemeriksaan material

Jenis Pengujian	Material	Hasil Pengujian	Standar ASTM
Kadar Air	Agregat Halus	0,9%	0-1%
	Agregat Kasar	2,1%	0-3%
Berat Jenis	Agregat Halus	2,6	2,5-2,7%
	Agregat Kasar	2,8	2,5-2,9%
Penyerapan	Agregat Halus	1,1%	1-3 %
	Agregat Kasar	2,6%	
Gradasi	Agregat Halus	2,4	2,3-3,1 %
	Agregat Kasar	6,9	6-8%
Kadar Lumpur	Agregat Halus	2,2%	<5%

Dari hasil pengujian karakteristik yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa, seluruh material memenuhi standar minimum yang telah ditentukan oleh ASTM, dengan demikian maka material dapat digunakan sebagai bahan adukan beton.

3.4.3. Perencanaan *Mix Design*

Pada perencanaan campuran beton penelitian ini menggunakan metode ACI (ACI Committee 544,1993). Sedangkan komposisi serat baja yang digunakan adalah serat kawat bendrat dengan persentase volume fraksi serat sebesar 0,75% dan 1,5% dari volume adukan beton.

Perencanaan menggunakan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa dan campuran *Superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen dan perhitungan komposisi material dijelaskan secara rinci pada lampiran B. Hasil perhitungan perencanaan kebutuhan *Mix Design* per m³ dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Komposisi Kebutuhan Material per m³

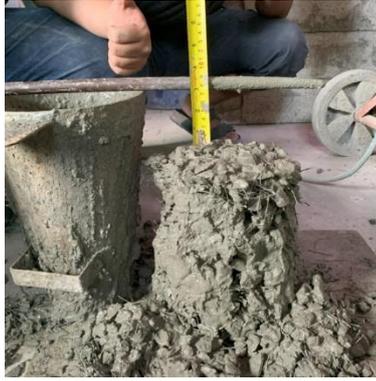
Volume Fraksi (%)	Material (kg)					
	Semen	Pasir	Split	Air	Serat Kawat Bendrat	SP 1 %
0	429,86	754,94	982,17	203	0	4,29
0,75	449,45	789,34	1026,93	212,25	50,1	4,49
1,5	446,19	783,62	1019,49	210,71	100,2	4,46

3.4.4. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji menggunakan cetakan yang sudah tersedia, yang terdiri dari 2 jenis benda uji yaitu benda uji silinder dengan tinggi 300 mm dan berdiameter 150 mm, dan balok dengan panjang 400 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm. Benda uji terdiri dari 21 benda uji silinder dan 21 benda uji balok dengan jumlah 42 benda uji, yang akan dilakukan pengujian pada umur beton 28 hari.

3.4.5. Pengujian *Workability* Adukan Beton

Pengujian *Workability* dilakukan dengan *Slump Test*, pengujian *Workability* menggunakan kerucut Abrams sebagai alat pengujian adukan beton dimasukkan bertahap dalam kerucut Abrams 1/3 bagian, 2/3 bagian, dan sampai penuh masing-masing tahap dipadatkan sebanyak 25 kali. Kemudian kerucut Abrams diangkat dan diukur nilai *slump* nya. Pengujian *workability* dengan metode slump test dapat dilihat seperti Gambar 13 .



Gambar 13. Pengujian *slump test*

3.4.6. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Benda uji yang telah dicetak dan dibuat dalam proses pembuatan benda uji akan direndam dalam bak air selama 26 hari untuk selanjutnya akan dilakukan pengujian pada umur beton 28 hari. Selama 26 hari beton dibiarkan di dalam rendaman untuk diangkat pada hari ke 27 dan didiamkan selama 24 jam untuk dilakukan pengujian kekuatan. Beton akan mengalami proses hidrasi dan dengan proses perawatan beton seperti ini beton diharapkan mengalami proses pengerasan yang sempurna sehingga penelitian mendapatkan hasil yang maksimal. Pada hal ini proses *curing* dilakukan dengan cara merendam benda uji pada bak khusus untuk merendam benda uji, proses *curing* benda uji pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses perendaman benda uji

3.4.7. Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan pada beton dalam penelitian ini adalah pengujian kuat tekan dan pengujian kuat lentur.

1) Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) yang berkapasitas 3000 kN serta kecepatan pembebanan 0,14 – 0,34 MPa/detik. Prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut :

- a. Mengangkat benda uji berbentuk silinder yang telah dianginkan setelah melalui proses *curing*.
- b. Menimbang, mencatat dan memberi tanda pada benda uji.
- c. Meletakkan benda uji pada ruang penekan *Compression Testing Machine*.
- d. Memastikan jarum penunjuk tepat pada titik nol, kemudian menghidupkan mesin tekan dan secara perlahan alat menekan benda uji.
- e. Mengamati setiap perubahan atau penambahan kuat tekan pada jarum pengukurnya. Bila jarum sudah tidak bergerak lagi maka mesin dimatikan, dengan kata lain benda uji sudah hancur.
- f. Membaca dan mencatat angka pada jarum ukur yang merupakan besarnya beban tekan beton untuk setiap benda uji.
- g. Menghitung besarnya kuat tekan benda uji.
- h. Membandingkan nilai kuat tekan tiap benda uji yang telah diuji.



Gambar 15. Pengujian kuat tekan pada beton

2) Pengujian kuat lentur beton

Pengujian kuat lentur diuji menggunakan UTM dengan membebani balok pada tiap sepertiga bentang dengan beban titik P. Beban ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi terletak pada sekitar tengah-tengah bentang. Besarnya momen akibat gaya pada saat runtuh ini merupakan kekuatan maksimal balok beton dalam menahan lentur. Langkah-langkah pengujian kuat lentur dilakukan sebagai berikut :

- a. Mengangkat benda uji berbentuk balok yang telah dianginkan setelah melalui proses perendaman.
- b. Membuat garis menggunakan spidol sebagai pertanda jarak perletakkan pada benda uji.
- c. Mesin penguji diatur jarak perletakkannya dan balok diletakkan pada mesin penguji.
- d. Meletakkan alat pembagi beban berupa pelat baja yang mempunyai dua roda.
- e. Mesin pembebanan dijalankan secara manual dengan peningkatan beban konstan dengan interval penambahan beban pada dial proving ring.
- f. Mengamati pembacaan pembebanan pada beban maksimum dan mencatat pembebanannya.



Gambar 16. Pengujian kuat lentur pada beton

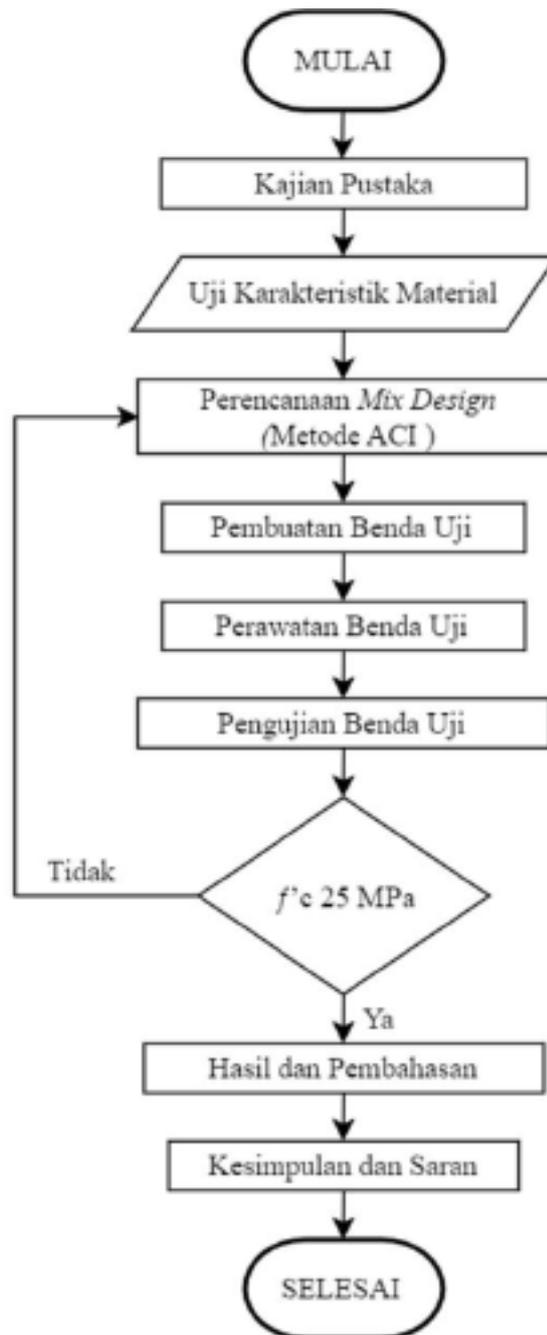
3.4.8. Analisis Hasil Pengujian

Setelah pengujian selesai dilakukan langkah selanjutnya ialah analisis hasil pengujian dan kesimpulan, analisis hasil pengujian bertujuan untuk mengetahui kualitas dari beton yang sudah dianalisis. Tahapan analisis data dilakukan sebagai berikut :

- 1) Menghitung kuat tekan beton menggunakan Persamaan 1.
- 2) Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dibuat grafik hubungan pengaruh variasi panjang serat kawat bendrat terhadap hasil kuat tekan beton, kemudian menganalisisnya.
- 3) Menghitung kuat tarik lentur beton menggunakan Persamaan 3.
- 4) Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dibuat grafik hubungan pengaruh variasi panjang serat kawat bendrat terhadap hasil kuat tarik lentur beton, kemudian menganalisisnya.
- 5) Membandingkan dari ketiga variasi panjang kawat bendrat, pada panjang berapa kawat bendrat memiliki nilai kuat tekan tertinggi.

3.4.9. Diagram Alir Penelitian

Agar penelitian yang dilakukan mudah dipahami, maka dibutuhkan rancangan tahapan proses penelitian yang akan dilakukan, tahapan – tahapan proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil percobaan yang telah dianalisis didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan serat kawat bendrat pada beton konvensional membuat nilai *slump* menurun. Semakin tinggi volume fraksi dan panjang campuran kawat bendrat maka kelecakan beton akan meningkat.
2. Penambahan bahan kimia *superplasticizier* sebesar 1% dari berat semen membuat nilai kelecakan adukan beton menjadi semakin tinggi. Nilai *slump* pada beton konvensional memiliki tinggi rencana sebesar 100 mm tanpa tambahan bahan kimia *superplasticizier* dan berubah menjadi 160 mm setelah ditambahkan bahan kimia *superplasticizier*.
3. Pada pengujian rerata kuat tekan beton normal tanpa serat pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 24,35 MPa, pada beton serat dengan volume fraksi 0,75% dan variasi panjang 30 mm sebesar 19,07 MPa, pada variasi panjang 50 mm sebesar 24,18 MPa, dan pada variasi panjang 70 mm sebesar 23,70 MPa. Sedangkan ada beton serat dengan volume fraksi 1,5% dan variasi panjang 30 mm sebesar 14,12 MPa, pada variasi panjang 50 mm sebesar 13,57 MPa, dan pada variasi panjang 70 mm sebesar 18,14 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kekuatan kuat tekan beton terjadi seiring meningkatnya volume fraksi kawat bendrat, dan variasi panjang paling optimum terdapat dipanjang 50 mm pada volume fraksi 0,75% dengan penurunan sebesar 0,68%.
4. Pada pengujian rata – rata kuat tarik lentur beton normal tanpa serat pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 3,89 MPa, pada beton serat dengan volume fraksi 0,75% dan variasi panjang 30 mm sebesar 5,12 MPa, pada

variasi panjang 50 mm sebesar 4,44 MPa, dan pada variasi panjang 70 mm sebesar 4,03 MPa. Sedangkan pada beton serat dengan volume fraksi 1,5% dan variasi panjang 30 mm sebesar 7,11 MPa, pada variasi panjang 50 mm sebesar 9,02 MPa, dan pada variasi panjang 70 mm sebesar 5,53 MPa. Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa campuran kawat bendrat meningkatkan nilai kuat tarik belah beton dengan nilai tertinggi terdapat pada beton serat volume fraksi 1,5% dan panjang serat 50 mm dengan peningkatan sebesar 168,39%.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan beberapa saran yang bertujuan pengembangan penelitian lanjut sebagai berikut:

1. Pada proses pembuatan sampel harus lebih dilakukan dengan sempurna agar memperoleh hasil pengujian terbaik.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang variasi ukuran panjang pada serat kawat bendrat terhadap beton konvensional pada variasi umur beton.
3. Perlu dilakukan penelitian berbeda dengan variasi panjang kawat bendrat terhadap beton konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 544. 1993. Guide for Specificng, Proportioning, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete. Report: ACI 544.3R-93.

Anggraeni, Sylvia Dewi. Noorhidana, Vera Agustriana. Irianti, Laksmi. Isneini, Mohd. 2022. Analisis Perbandingan Pengaruh Campuran Kawat Bendrat Dan Serat Baja Pada Self Compacting Concrete (SCC). *JRSDD, Edisi Juni 2022*. 10(2), 279-292.

Faizah, Poppy Nitrianda. Purwanto, Eddy. Irianti, Laksmi. 2017. Perbandingan Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Lurus (Straight) Dengan Serat Bendrat Berkait (Hooked) Terhadap Perilaku Beton Dengan Beban Tekan Berulang. *JRSDD, Edisi Desember 2017*. 5(4), 1-12.

Hidayat, Muhammad Krisna Bagus. Purwanto, Eddy. Bayzoni. 2018. Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Beton Mutu Tinggi terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Kuat Lentur. *JRSDD, Edisi Juni 2018*. 6(2), 199-208.

Julianto, Fawzi. Samsurizal, Eddy. 2016. Mungok, Crisna Jaja. Pengaruh Campuran Kawat Bendrat Terhadap Kekuatan Balok Beton Dengan Mutu 20 Mpa. *Jurnal Ilmiah*. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Vol.2 No.2.

Mulyono, Tri. 2004. Teknologi Beton. Penerbit ANDI. Yogyakarta

- Mulyono, Tri. 2021. Karakteristik Beton Mutu 16,9 MPa Menggunakan 1% Kawat Bendrat dengan Variasi Panjang. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*. Program Studi Transportasi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Vol. 5 No. 3.
- Nugraha, Ikhsan Dwipayana. 2018. Studi Karakteristik Beton Serat Kawat Bendrat. *Jurnal Ilmiah*. Universitas Hassanudin, Sulawesi Selatan.
- Nugraheni, Melly. Purwanto, Eddy. Sebayang, Surya. Susilo, Gatot Eko. 2017. Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Berkait (Hooked) Dengan Perilaku Beton Pada Beban Tekan Berulang. *JRSDD*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
- Purwanto, Eddy. 2011. Pengaruh Prosentase Penambahan Serat Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Ringan. *Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*. 15(2), 87-98.
- Riana, Netta. Noorhidana, Vera Agustriana. Irianti, Laksmi. Alami, Fikri. 2022. Analisis Perbandingan Pengaruh Penambahan Serat Baja Karbon 3d Dramix Dan Serat Kawat Bendrat Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Dan Kuat Tarik Lentur Pada Beton Mutu Normal. *JRSDD, Edisi Juni 2022*. 10(2), 373-383.
- SNI 1974:2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847:2019. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- SNI 4431. 2011. Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049. 2004. Semen Portland Komposit. Badan Standarisasi Nasional. Indonesia.
- Sudarmoko. 1991. Kuat Tarik Beton Serat Bendrat. Makalah Seminar PAU- Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta
- Suhendro, Bambang. 1991. Pengaruh Fiber Kawat Pada Sifat-Sifat Beton dan Beton Bertulang. Laporan Penelitian. Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.
- Wendi, Mufti, Indra. 2020. Pengaruh Penggunaan Serat Kawat Bendrat sebagai Campuran pada Beton terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Spektrum UNRAM*. Vol 8. No 1. Padang
- Zhafira, Atika Ulima. Purwanto, Eddy. Irianti, Laksmi. 2017. Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur pada Campuran Beton dengan Penambahan Serat Kawat Bendrat Berkait. *JRSDD, Edisi Desember 2017*. 1(1), 1-10.