

**ANALISIS KOMBINASI CAMPURAN SERAT BAJA DAN  
KAWAT BENDRAT PADA BETON KONVENSIONAL**

Oleh

**LAILA INDAH RAHMANISA**

**Skripsi**

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

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### ANALISIS KOMBINASI CAMPURAN SERAT BAJA DAN KAWAT BENDRAT PADA BETON KONVENSIONAL

Oleh

LAILA INDAH RAHMANISA

Beton konvensional adalah campuran dari tiga bahan utama yaitu semen, air, dan agregat (pasir dan batu pecah). Beton konvensional memiliki kelemahan, yaitu cenderung rapuh dan mudah retak dalam menahan kuat tarik. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut, seringkali perlu dilakukan perbaikan atau perkuatan pada beton konvensional dengan menambahkan bahan tambahan seperti serat baja atau kawat bendrat. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari perbandingan campuran serat baja 3D Dramix dan kawat bendrat yang optimal, karena dengan mengetahui perbandingan campuran yang optimal maka dapat ditemukan formulasi terbaik dari kerja beton serta dapat menekan pengeluaran untuk kebutuhan material (*low effort, high impact*). Penelitian ini dilakukan dengan penambahan volume fraksi 0%, 1%, dan 1,5% dari volume adukan beton. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk kuat tekan, dan balok dengan ukuran (100 x 100 x 400) mm untuk kuat tarik lentur. Penelitian ini dilakukan dengan variasi *volume fraction* 0%, 1%, dan 1,5%, dan dilakukan pengujian saat umur beton 28 hari.

Dari hasil penelitian telah didapat kesimpulan : (1) Dari campuran kombinasi 3D Dramix dan kawat bendrat didapat perbandingan yang memberikan hasil paling optimum untuk menaikkan nilai kuat tekan yaitu pada kadar variasi 3D Dramix 0,5% dan kawat bendrat 0,5% di volume fraksi 1%. (2) Dari campuran kombinasi 3D Dramix dan kawat bendrat didapat perbandingan yang memberikan hasil paling optimum untuk menaikkan nilai kuat tarik lentur yaitu pada kadar variasi 3D Dramix 0,5% dan kawat bendrat 1% di volume fraksi 1,5%.

Kata kunci : Serat baja 3D Dramix, kawat bendrat, kuat tekan, kuat tarik lentur.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF COMBINED STEEL FIBER AND BENDRAT WIRE MIXTURES IN CONVENTIONAL CONCRETE**

**By**

**LAILA INDAH RAHMANISA**

Conventional concrete is a mixture of three main ingredients: cement, water, and aggregate (sand and crushed stone). Conventional concrete has a weakness, which is that it tends to be brittle and easily cracked in resisting tensile strength. Therefore, to overcome these problems, it is often necessary to repair or reinforce conventional concrete by adding additional materials such as steel fibers or bendrat wire. The purpose of this research is to find the optimal mix ratio of Dramix 3D steel fiber and bendrat wire, because by knowing the optimal mix ratio, the best formulation of concrete work can be found and can reduce spending on material requirements (low effort, high impact). This research was conducted with the addition of volume fractions of 0%, 1%, and 1.5% of the volume of concrete mix. The test objects used were cylinders with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm for compressive strength, and beams with a size of (100 x 100 x 400) mm for flexural tensile strength. This research was conducted with variations in volume fraction of 0%, 1%, and 1.5%, and tested at the age of 28 days of concrete.

From the research results, the following conclusions have been obtained: (1) From the combination of 3D Dramix and bendrat wire, the ratio that gives the most optimum results to increase the compressive strength value is at the level of 3D Dramix variation of 0.5% and 0.5% bendrat wire at 1% volume fraction. (2) From the combined mixture of 3D Dramix and bendrat wire, the ratio that gives the most optimum results for increasing the flexural tensile strength value is at the level of 0.5% 3D Dramix variation and 1% bendrat wire at a volume fraction of 1.5%.

**Keywords:** 3D Dramix steel fiber, bendrat wire, compressive strength, flexural tensile strength.

**Judul Skripsi : ANALISIS KOMBINASI CAMPURAN SERAT  
BAJA DAN KAWAT BENDRAT PADA  
BETON KONVENSIONAL**

**Nama Mahasiswa : Iqila Indah Rahmanisa**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011019**

**Program Studi : Teknik Sipil**

**Fakultas : Teknik**



**MENYETUJUI**

**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**

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

**NIP 19720829 199802 1 001**

**3. Ketua Jurusan Teknik Sipil**

**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**

**NIP 19620408 198903 2 001**

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Eng. Mohd. Isnelni, 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**

## SURAT PERNYATAAN

**Yang bertanda tangan di bawah ini :**

**Nama : Laila Indah Rahmanisa**

**NPM : 1915011019**

**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



**Laila Indah Rahmanisa**

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Laila Indah Rahmanisa dilahirkan di Metro, pada tanggal 31 Januari 2001. Penulis merupakan putri kedua dari pasangan Bapak Krisna Meiwanto, S.Pd., M.M. dan Ibu Rahayu Dewi.

Penulis menempuh Pendidikan awal di TK Aisyiah Metro Pusat dan Pendidikan dasar (SD) di SD Muhammadiyah Metro Pusat, Kota Metro yang diselesaikan pada tahun 2013.

Pendidikan tingkat menengah pertama di SMP Negeri 1 Metro, Kota Metro dan diselesaikan pada tahun 2016. Kemudian melanjutkan Pendidikan tingkat atas di SMA Negeri 4 Metro, Kota Metro dan diselesaikan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Dalam masa perkuliahannya penulis turut serta dalam organisasi kemahasiswaan tingkat Universitas dan Fakultas. Di tingkat Universitas Penulis terdaftar sebagai Korps Muda BEM/KMB BEM UNILA XVI Periode jabatan 2020, selain itu di tingkat fakultas penulis mengikuti organisasi kemahasiswaan meliputi Staff FT PORAKRESMA BEM FT UNILA Periode jabatan 2020/2021, Anggota Muda Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil HIMATEKS UNILA periode jabatan 2021/2022, serta Anggota Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil HIMATEKS UNILA periode jabatan 2022. Penulis melakukan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Laboratorium Pendidikan Karakter (Masjid Al-Wasii) Universitas Lampung pada tahun 2022. Pada tahun 2022 Penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Purwosari, Metro Utara. Selain itu penulis juga mendapat kepercayaan menjadi asisten dosen pada mata kuliah Analisis Statis Tak Tentu pada tahun 2021.

## MOTTO HIDUP

“Don't be afraid to start over. It's a chance to build something better  
this time”

(Laila Indah Rahmanisa)

“Tidak ada kesuksesan tanpa kerja keras. Tidak ada keberhasilan  
tanpa kebersamaan. Dan tidak ada kemudahan dalam doa.”

(Ridwan Kamil)

“Jangan rendah diri dengan kawan kawan yang sudah lebih dulu  
bersinar, seperti langit yang lapang membentang, dunia masih cukup  
menampung banyak bintang menanti kamu yang punya banyak  
keberanian.”

(Najwa Shihab)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Al-Insyiraa 94:6)

“And never think that Allah is unaware of what the wrongdoers do”

(Ibrahim 14:42)

“You've got no reason to be afraid”

(Taylor Swift)



## SANWACANA

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

Skripsi yang berjudul “Analisis Kombinasi Campuran Serat Baja dan 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.IPM. ASEAN.Eng selaku Dosen penguji skripsi.
8. Bapak Aminudin Syah, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis.
9. Ayah saya Krisna Meiwanto, S.Pd., M.M. Ibu saya Rahayu Dewi, Kakak saya Aulia Nurul Fathiya, S.Mat. dan Adik saya Syabilla Rizki Ramadhina, serta

keponakan saya Shafa Almahyra Zafina dan Kakak Ipar saya Rahmat Prasetyo, serta keluarga yang senantiasa ikhlas mendoakan dan tidak pernah lelah memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan perkuliahan.

10. Terimakasih kepada M. Alvany Veschonanda Ristama yang telah mensupport saya, memberikan semangat dan doa selama proses pengerjaan skripsi dan perkuliahan.
11. Kepada anggota beri(6)! (Kinan, Ayu, Miranda, Arsalia, Eno), terimakasih telah memberikan banyak kenangan baik dan buruk, mensupport saya, menemani saya serta memberikan banyak arti persahabatan dan kesetiakawanan dari maba sampai saya lulus.
12. Kepada kawan SMA anggota Mochi (Dinda, Nanda, Diana), terimakasih telah memberikan banyak dukungan moril, serta ikhlas mendoakan penulis selama menyusun skripsi.
13. Terimakasih kepada Team Lab (Alvany, Vernady, Naufal, Ainaya, Elfa) yang telah bekerja sama dalam proses pembuatan skripsi.
14. Seluruh Keluarga Besar Teknik Sipil 2019 dan kakak tingkat di Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

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 skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak orang. Aamiin.

Bandar Lampung,

2023

Penulis

**Laila Indah Rahmanisa**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>iv</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Beton .....	7
2.1.1 Kelebihan beton .....	9
2.1.2 Kekurangan beton .....	10
2.2 Bahan Campuran Beton.....	11
2.3 Beton Serat .....	18
2.4 Kuat Tekan & Kuat Tarik Lentur.....	19
2.4.1 Kuat Tekan .....	19
2.4.2 Kuat Tarik Lentur .....	20
2.5 Penelitian Terdahulu .....	21
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	27
3.2 Persiapan Alat dan Bahan.....	28
3.3 Prosedur Pelaksanaan .....	31
3.3.1 Persiapan Bahan .....	32
3.3.2 Pemeriksaan Pengujian Material.....	33
3.3.3 Perencanaan <i>mix design</i> .....	35
3.3.4 Pembuatan benda uji .....	37
3.3.5 Pemeriksaan <i>workability</i> .....	38
3.3.6 Pemeliharaan terhadap benda uji ( <i>curing</i> ) .....	39

3.3.7 Pelaksanaan pengujian .....	40
3.3.8 Analisis hasil pengujian .....	42
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	43
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1 Umum .....	44
4.2 Kelecekan ( <i>Workability</i> ) .....	44
4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan .....	48
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik lentur .....	55
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Serat baja 3D Dramix.....	17
Gambar 2. Serat kawat bendrat yang berbentuk gulungan. ....	17
Gambar 3. Pengujian kuat tekan pada benda uji silinder. ....	20
Gambar 4. Perletakan dan pembebanan kuat tarik lentur.....	21
Gambar 5. Grafik hubungan antara <i>volume fraction</i> dan kuat tekan beton. (Putra dkk., 2020). ....	23
Gambar 6. Grafik hubungan antara <i>volume fraction</i> dan kuat tarik lentur beton. (Putra dkk., 2020). ....	24
Gambar 7. Grafik hubungan antara beban dan lendutan tengah bentang. (Putra dkk., 2020) .....	24
Gambar 8. Grafik hubungan antara <i>volume fraction</i> dan kuat tekan beton. ....	25
Gambar 9. Grafik hubungan antara <i>volume fraction</i> dan kuat tarik belah. (Riana dkk., 2022). ....	26
Gambar 10. Grafik hubungan antara <i>volume fraction</i> dan kuat tarik lentur. (Riana dkk., 2022). ....	26
Gambar 11. Bahan, a. Semen b. Agregat kasar c. Agregat halus d. Air e. <i>Superplasticizer</i> f. Dramix g. Bendrat. ....	33
Gambar 12. Proses pembuatan sampel a. Proses pencampuran material dalam molen b. Hasil benda uji sampel silinder c. Hasil benda uji sampel balok.....	38
Gambar 13. Pemeriksaan <i>workability</i> menggunakan kerucut <i>abrams</i> . ....	39
Gambar 14. Proses <i>curing</i> pada bak perendam. ....	40
Gambar 15. Pengujian kuat tekan dengan alat CTM. ....	41
Gambar 16. Pengujian kuat tarik lentur dengan alat <i>Hydraulic Jack</i> .....	42
Gambar 17. Diagram alir penelitian. ....	43
Gambar 18. Grafik hubungan antara nilai <i>slump</i> dan <i>volume fraction</i> 1%. ....	46
Gambar 19. Grafik hubungan antara nilai <i>slump</i> dan <i>volume fraction</i> 1,5%. ....	46

Gambar 20. <i>Slump</i> tes adukan beton a. <i>Volume fraction</i> 0%, b. <i>Volume fraction</i> 1%, c. <i>Volume fraction</i> 1,5%.....	48
Gambar 21. Hubungan grafik kuat tekan dengan sampel pada <i>volume fraction</i> 1%. .....	51
Gambar 22. Hubungan grafik kuat tekan dengan sampel pada <i>volume fraction</i> 1,5%. .....	52
Gambar 23. Benda uji kuat tekan beton a. <i>Volume fraction</i> 0%, b. <i>Volume fraction</i> 1%, c. <i>Volume fraction</i> 1,5%.....	55
Gambar 24. Pengujian perletakan kuat tarik lentur.....	56
Gambar 25. Hubungan grafik kuat tarik lentur dengan sampel pada <i>volume fraction</i> 1%. .....	58
Gambar 26. Hubungan grafik kuat tarik lentur dengan sampel pada <i>volume fraction</i> 1,5%. .....	59
Gambar 27. Benda uji kuat tarik lentur beton a. <i>Volume fraction</i> 0%, b. <i>Volume fraction</i> 1%, c. <i>Volume fraction</i> 1,5%.....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Jenis beton menurut kuat tekannya (Tjokrodimuljo, 2007) .....	8
Tabel 2. Jenis beton menurut berat jenisnya (Tjokrodimuljo, 2007) .....	8
Tabel 3. Komposisi Bahan Utama Semen (Tjokrodimulyo, 1996).....	11
Tabel 4. Gradasi standar agregat kasar (ASTM C-33-84).....	12
Tabel 5. Gradasi standar agregat kasar (ASTM C-33-97).....	13
Tabel 6. Sifat-sifat macam kawat yang digunakan sebagai bahan <i>fiber</i> (Suhendro, 2000).....	16
Tabel 7. Analisis hasil tes kuat tekan (Denny dkk., 2015).....	21
Tabel 8. Analisis hasil tes momen nominal (Denny dkk., 2015).....	22
Tabel 9. Hasil pemeriksaan pengujian material penyusun .....	34
Tabel 10. Kebutuhan material per m <sup>3</sup> beton normal volume fraksi 0% serat .....	36
Tabel 11. Kebutuhan material per m <sup>3</sup> beton serat campuran serat baja 3D dramix dan kawat bendrat dengan volume fraksi 1%.....	36
Tabel 12. Kebutuhan material per m <sup>3</sup> beton serat campuran serat baja 3D dramix dan kawat bendrat dengan volume fraksi 1,5%. .....	36
Tabel 13. Data jumlah benda uji untuk kuat tekan & kuat tarik lentur. ....	37
Tabel 14. Nilai <i>slump</i> adukan beton.....	45
Tabel 15. Hasil pengujian kuat tekan beton campuran kawat bendrat, Dramix, dan kombinasi kawat bendrat dan Dramix. ....	50
Tabel 16. Hasil pengujian kuat tarik beton campuran kawat bendrat Dramix, dan kombinasi kawat bendrat dan Dramix. ....	57

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Beton konvensional adalah campuran dari tiga bahan utama yaitu semen, air, dan agregat (pasir dan batu pecah). Komposisi campuran ini ditentukan oleh rasio atau perbandingan antara bahan-bahan tersebut. Agregat kasar (batu pecah) digunakan sebagai bahan pengisi dan memberikan kekuatan pada beton, sedangkan agregat halus (pasir) digunakan sebagai bahan pengisi dan sebagai bahan pengikat untuk menempelkan agregat kasar dan semen. Semen digunakan sebagai bahan pengikat untuk mengikat agregat dan air, sedangkan air digunakan untuk membuat adukan menjadi cair dan mudah dicor. Proses pembuatan beton konvensional dimulai dengan mencampurkan semen, air, dan agregat secara proporsional menggunakan *mixer* atau alat pencampur lainnya. Setelah dicampur dengan baik, adukan beton dituangkan ke dalam bekisting dan dibiarkan mengeras selama beberapa waktu. Selama proses pengeringan, beton harus dijaga kelembapannya agar tidak terlalu cepat mengering, sehingga memastikan kualitas beton yang baik dan kuat. Beton konvensional memiliki sifat mekanik yang sangat baik, termasuk kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan kekuatan tarik.

Saat ini rata-rata pada proyek konstruksi selalu menggunakan beton konvensional untuk pembangunan, berbagai kelebihan yang dihasilkan beton konvensional seperti memiliki kekuatan tekan yang baik, ketahanan terhadap bahan kimia, serta ketahanan terhadap api dapat dijadikan alasan memilih beton konvensional. Tetapi dibalik itu terdapat beberapa kekurangan yaitu sifat yang getas dan kuat tarik yang rendah, sehingga konstruksi beton diberi tulangan untuk mengatasi pada bagian tarik. Salah satu usaha



pengembangannya ialah dengan cara memperbaiki sifat dari kelemahan beton yaitu tidak mampu menahan gaya tarik, dimana nilai kuat tarik beton berkisar 9%-15 % dari kuat tekannya (Dipohusodo 1994). Menurut (Tjokrodimulyo 1996) maksud utama penambahan serat kedalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton sangat rendah.

Berbagai penelitian telah 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 (Sudarmoko 1991). Kuat tekan beton bertulang serat tidak memiliki perbedaan yang signifikan dari beton bertulang yang tidak memakai serat. Meskipun demikian, beton dengan penambahan serat memiliki daya tahan yang lebih tinggi terhadap keretakan dan tumbukan.

(Denny dkk., 2015) meneliti tentang penggunaan *consol fiber steel* sebagai campuran pada balok beton bertulang. *Consol fiber steel* adalah serat yang terbuat dari baja dengan model bergelombang (*crimped*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk kuat tekan, beton dengan jumlah kadar serat 0,75% merupakan campuran yang paling efisien dengan hasil 18,90 MPa. Sedangkan untuk momen nominal, beton dengan jumlah kadar serat 0,5% merupakan campuran yang paling efisien dengan hasil kuat tekan 1,47 kNm.

(Rasjidi dkk., 2001) meneliti tentang optimalisasi penggunaan bendrat melalui pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton serat. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kuat tekan optimal umur 28 hari pada penggunaan konsentrasi serat 4%, panjang serat 5 cm, yaitu  $f_c' = 368,599 \text{ kg/cm}^2$ , terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 83% terhadap beton tanpa serat dan kuat tarik optimal umur beton 28 hari yaitu pada penggunaan konsentrasi serat 4%, panjang serat 6 cm yaitu  $f_t' = 45,772 \text{ kg/cm}^2$  terjadi peningkatan kuat tarik sebesar 40,275%.

(Aziz dkk., 2016) meneliti tentang kuat tarik belah beton dengan penambahan *dramix steel fiber*. Adapun hasil dari penelitian ini diperoleh kuat tarik belah beton meningkat dengan penambahan *dramix steel fiber*, dengan besar

peningkatan rata-rata 2,23% untuk mutu beton 20 Mpa dan 11,2% untuk mutu beton 40 Mpa pada setiap penambahan 2,5% *dramix steel fiber*.

(Sasmita dkk., 2017) meneliti tentang pengaruh *steel fiber* pada kekuatan tekan pipa beton. Dengan dimensi pipa beton berdiameter luar 15 cm, diameter lubang 5 cm, dan tinggi 30 cm. Hasil penelitian menunjukkan, penambahan *steel fiber* dapat meningkatkan kuat tekan pipa beton. Semakin tinggi kadar *steel fiber* semakin besar kuat tekan pipa beton tersebut. Penambahan *steel fiber* sebanyak 0.3% meningkatkan kuat tekan pipa beton hingga 27%.

(Putra dkk., 2020), didapatkan penelitian dari hasil uji kuat tekan tidak mengalami perbedaan yang signifikan dengan adanya penambahan serat baja. Kuat tarik lentur balok beton tertinggi terdapat pada *volume fraction* 1,5% dan mengalami peningkatan sebesar 281,42% dari *volume fraction* 0%. Kuat lentur balok beton bertulang dengan beban maksimum terdapat pada *volume fraction* 1,5% dan mengalami peningkatan sebesar 56,64% dari *volume fraction* 0%. Penambahan serat baja pada balok beton bertulang menyebabkan balok tersebut menjadi lebih kaku, penambahan serat juga dapat memperbaiki sifat getas pada beton.

(Riana dkk., 2022), meneliti tentang penambahan serat baja karbon 3D Dramix dan serat kawat bendrat dengan volume fraksi sebesar 0%, 1%, 1,5% dan 2% dari volume adukan beton normal dan diuji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Hasil penelitian yaitu kuat tekan maksimum terjadi pada penambahan serat kawat bendrat pada *volume fraction* 1% mengalami peningkatan sebesar 19,33% dari kuat tekan beton *volume fraction* 0%, Kuat tarik belah maksimum terjadi pada penambahan serat baja karbon 3D Dramix pada *volume fraction* 2% mengalami peningkatan sebesar 88,38% dari kuat tarik belah beton *volume fraction* 0%, dan Kuat tarik lentur maksimum terjadi pada penambahan serat baja karbon 3D Dramix pada *volume fraction* 2% mengalami peningkatan sebesar 465,63% dari kuat tarik lentur beton *volume fraction* 0%. Penambahan serat baja karbon 3D Dramix lebih signifikan dibandingkan serat kawat bendrat.

Beton konvensional memiliki kelemahan, yaitu cenderung rapuh dan mudah retak saat terkena tekanan atau beban yang berlebihan. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut, seringkali perlu dilakukan perbaikan atau penguatan pada beton konvensional dengan menambahkan bahan tambahan seperti serat baja atau kawat bendrat. Dengan demikian, beton dapat lebih tahan terhadap beban dan retak serta memiliki kualitas dan umur pakai yang lebih baik. Beberapa kelebihan serat baja dari serat lainnya, yaitu memiliki modulus yang tinggi, tidak mengalami perubahan bentuk terhadap alkali dalam semen, dan adanya *bond strength* yaitu pengangkatan mekanis antara beton dengan serat. Dengan menambahkan serat baja dalam beton polos, maka akan terjadi peningkatan kapasitas kekuatan beton secara signifikan (Thomas, 2007). Dari penelitian terdahulu banyak dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan serat baja karbon dan serat kawat bendrat pada beton mutu normal serta membandingkan serat baja karbon dengan kawat bendrat secara bersamaan, namun belum ada yang membuat penelitian dengan mengkombinasikan kedua serat, yaitu serat baja dan kawat bendrat pada beton konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mencari efektifitas campuran serat baja dan kawat bendrat yang optimal, lebih efektif menggunakan serat baja secara keseluruhan, menggunakan serat kawat bendrat keseluruhan, atau mencampurkan keduanya. Karena dengan mengetahui efektifitas campuran kombinasi antara serat baja dan kawat bendrat, maka dapat ditemukan formulasi terbaik agar mencapai efektifitas kerja beton serta menekan pengeluaran untuk kebutuhan material (*low effort, high impact*). Penelitian ini dilakukan dengan variasi *volume fraction* 0%, 1%, dan 1,5%. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan para perencana struktur maupun para praktisi beton di lapangan yang ingin memperoleh efektifitas kerja beton yang baik, namun dapat menekan kebutuhan material yang dikeluarkan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil analisis kombinasi campuran dari serat baja 3D Dramix dan kawat bendrat pada beton konvensional terhadap sifat mekanis beton yaitu kuat tekan dan kuat tarik lentur?
2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan kombinasi campuran serat baja 3D Dramix dan kawat bendrat pada beton konvensional?
3. Berapa besar kuat tekan dan kuat tarik lentur yang dihasilkan oleh beton konvensional dengan penambahan campuran kombinasi kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix dibandingkan beton normal?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka diperlukan tujuan masalah untuk menjawab rumusan masalah yang terjadi. Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hasil kombinasi campuran dari serat baja 3D Dramix dan kawat bendrat pada beton konvensional terhadap sifat mekanis beton yaitu kuat tekan dan kuat tarik lentur
2. Mengetahui campuran kombinasi yang efisien dan memberikan hasil yang paling optimum ditinjau dari kuat tekan dan kuat tarik lentur.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah sesuai tujuan yang diharapkan, maka terdapat batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) adalah beton mutu normal, dengan perencanaan awal digunakan kuat tekan 25 MPa.
2. Metode perencanaan (*mix design*) menggunakan metode perencanaan dan perhitungan. *Mix design* dilakukan dengan menggunakan metode ACI.
3. Pengujian material menggunakan standar acuan ASTM, sedangkan uji kuat tekan dan kuat tarik lentur menggunakan standar acuan SNI.

4. Aspek rasio kawat bendrat yaitu (l/d) 75 dengan diameter 0,8 mm dan panjang 60 mm.
5. Aspek rasio serat baja 3D Dramix dengan tipe ujung berkait (*hooked*) yaitu (l/d) 80 dengan diameter 0,75 mm dan panjang 60 mm.
6. Pengujian beton terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur.
7. Variasi kadar kombinasi kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix yaitu 0%, 1,0% dan 1,5% terhadap volume adukan beton, dengan variasi penambahan kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix 0%, kawat bendrat 0,5% serat baja 3D Dramix 0,5%, kawat bendrat 0,75% serat baja 3D Dramix 0,25%, kawat bendrat 1%, serat baja 3D Dramix 1%, kawat bendrat 1,25% serat baja 3D Dramix 0,25%, kawat bendrat 1,0% serat baja 3D Dramix 0,5%, kawat bendrat 1,5%.
8. Pengujian beton dilakukan pada beton berumur 28 hari.
9. Benda uji dibuat sebanyak 48 sampel dengan total 24 buah benda uji untuk kuat tekan dan 24 buah benda uji untuk kuat tarik lentur.
10. Sampel berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan balok dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah:

1. Sebagai salah satu ilmu pengetahuan dan menambah wawasan khususnya pada bahan campuran beton terutama penambahan campuran kombinasi kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix pada beton untuk meningkatkan mutu beton sesuai yang diharapkan dan memperbaiki sifat-sifat yang kurang baik pada beton.
2. Mengetahui besarnya kuat tekan dan kuat tarik lentur yang dihasilkan oleh beton dengan penambahan kombinasi kawat bendrat dan serat baja pada beton konvensional.
3. Dengan penelitian yang maksimum diharapkan bahan tambah tersebut dapat dijadikan bahan tambah komponen beton yang mempunyai kekuatan tinggi dan berkualitas baik namun bernilai ekonomis.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan atau *admixture* (SNI 2847:2013). Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m<sup>3</sup> menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan. Beton merupakan suatu bahan komposit yang dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus, agregat kasar, air, semen atau bahan lain yang berfungsi sebagai bahan pengikat hidrolis, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Sifat-sifat beton yang perlu diketahui menurut Sugiyanto dan (Sebayang 2005) dan (Tjokrodinuljo 2007) antara lain:

#### 1. *Durability* (Keawetan)

Merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan. Keawetan atau *durability* pada beton adalah kemampuan beton untuk tetap mempertahankan kinerjanya secara efektif dalam jangka waktu yang lama di bawah pengaruh lingkungan yang berubah dan kondisi eksternal lainnya. Beton yang tahan terhadap pengaruh lingkungan yang buruk akan memiliki masa pakai yang lebih lama dan memerlukan sedikit perawatan atau perbaikan.

#### 2. Kuat Tekan

Ditentukan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa (N/mm<sup>2</sup>) untuk SK SNI 91 dan standar ACI. Sedangkan British Standar menggunakan benda

uji kubus dengan sisi ukuran 150 mm. Jenis beton terhadap kuat tekannya dapat dilihat pada Tabel 1.

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

<b>Jenis Beton</b>	<b>Kuat tekan (MPa)</b>
Beton sederhana	10 MPa
Beton normal	15-30 MPa
Beton pra tegang	30-40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

### 3. Kuat Tarik

Kuat tarik beton jauh lebih kecil dari kuat tekannya, yaitu sekitar 10 % -15 % dari kuat tekannya. Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi balok. Sifat kuat tarik yang rendah pada beton dapat diperbaiki dengan penambahan serat ke dalam adukan beton.

### 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. Jenis beton menurut berat jenisnya dapat dilihat pada Tabel 2.

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

<b>Jenis Beton</b>	<b>Berat Jenis</b>	<b>Pemakaian</b>
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. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus beton sebagai berikut:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} ; \text{ untuk beton normal}$$

Dengan,

$E_c$  = Modulus elastisitas beton, MPa

$f'_c$  = Kuat tekan beton, MPa

#### 6. Susut (*Shrinkage*)

Dalam konteks sifat beton, susut atau *shrinkage* merujuk pada pengurangan volume beton yang terjadi setelah beton mengeras dan kering. Ada dua jenis susut pada beton: susut plastis dan susut kering. Susut plastis terjadi selama proses pengeringan beton segar atau pada saat beton sedang dalam keadaan plastis. Ini terjadi karena air dalam beton menguap, sehingga volume beton mengecil. Susut plastis umumnya tidak signifikan dan tidak memengaruhi sifat mekanis beton yang akhir.

#### 7. Rangkak (*Creep*)

Merupakan salah satu sifat beton dimana beton mengalami deformasi terus menerus menurut waktu dibawah beban yang dipikul.

#### 8. Keleccakan (*Workability*)

*Workability* adalah sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan *finishing*.

### 2.1.1 Kelebihan beton

Beton konvensional memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan material lain, sesuai dengan (Tjokrodimulyo 1996), kelebihan beton antara lain:



1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
2. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan dan cetakan dapat dipakai berulang kali sehingga ekonomis.
3. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
4. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat yang sulit dijangkau.
5. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

### **2.1.2 Kekurangan beton**

Beton konvensional memiliki banyak kelebihan, namun selain kelebihan yang dimiliki beton konvensional juga terdapat kekurangan. sesuai dengan (Tjokrodimulyo 1996), kekurangan beton antara lain:

1. Mudah retaknya beton disebabkan karena tidak mempunya beton menahan gaya tarik, oleh karenanya diperlukan tulangan dari baja untuk menahan gaya tarik beton.
2. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retakan akibat perubahan suhu
3. Untuk mendapatkan beton kedap air, harus dilakukan pekerjaan teliti.
4. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

## 2.2 Bahan Campuran Beton

Adapun bahan campuran beton sebagai berikut:

### 1. Semen Portland

Menurut SNI 15-7064-2004, Semen portland merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak/klinker semen portland dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Semen portland mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton atau plester yang lebih rapat dan lebih halus. Semen portland memiliki 5 jenis tipe yaitu Tipe 1 (*Ordinary Portland Cement*), Tipe 2 (*Moderate Sulfat Resistance*), Tipe 3 (*High Early Strength*), Tipe 4 (*Low Heat of Hydration*), dan Tipe 5 (*Sulfat Resistance Cement*).

Berdasarkan SNI 2049:2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan. Komposisi kimia pada semen portland dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Bahan Utama Semen (Tjokrodimulyo, 1996)

Komposisi	Persentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	17 – 25
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3 – 8
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1 – 2
Potash (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)	0,5 – 1

## 2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material konstruksi seperti kerikil, batu pecah, atau batu-batu besar lainnya yang digunakan dalam konstruksi bangunan, jalan, dan proyek-proyek konstruksi lainnya. Agregat kasar biasanya memiliki ukuran partikel yang lebih besar dari agregat halus, dengan ukuran partikel berkisar antara 5 mm hingga 20 mm. Semakin berbentuk bulat agregat cenderung menyebabkan *blocking* dan semakin besar aliran karena mengurangi gesekan internal. Distribusi ukuran dan jumlah agregat dapat mempengaruhi *workability* atau kelecakan beton agregat kasar digunakan untuk memberikan kekuatan dan stabilitas pada beton dan aspal, serta untuk mengisi ruang antara bahan konstruksi lainnya. Agregat merupakan material utama pembentuk beton disamping semen. Hampir 60-80 % dari volume total beton berisi agregat. Penggunaan agregat bertujuan untuk memberi bentuk pada beton, memberi kekerasan yang dapat menahan beban, goresan dan cuaca, mengontrol *workability* serta agar lebih ekonomis karena menghemat pemakaian semen. Gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Gradasi standar agregat kasar (ASTM C-33-84)

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos		
	37,5 – 4,75	19,0 – 4,75	12,5 – 4,75
50	100	-	-
38,1	95 – 100	-	-
25	-	100	-
19	35 – 70	90 – 100	100
12,5	-	-	90 – 100
9,5	10 – 30	20 – 55	40 – 70
4,75	0 – 5	0 – 10	0 – 15
2,36	-	0 – 5	0 – 5
Pan			

### 3. Agregat Halus

Agregat halus adalah bahan konstruksi yang penting dalam pembuatan beton dan mortir. Agregat halus umumnya terdiri dari pasir alam atau pasir buatan manusia yang telah diayak dan memiliki ukuran partikel yang seragam. Gradasi standar agregat halus menurut sumber ASTM C-33-97 disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Gradasi standar agregat kasar (ASTM C-33-97)

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36 (No 8)	80 – 100
1,18 (No 16)	50 – 85
0,6 (No 30)	25 – 60
0,3 (No 50)	10 – 30
0,15 (No 100)	2 – 10
Pan	

### 4. Air

Air yang digunakan untuk campuran beton yaitu air yang bersih serta bebas dari bahan-bahan tercemar, tidak mengandung bahan organik yang dapat menyebabkan korosi, serta air yang digunakan tidak mengandung asam atau alkali dengan pH antara 6-8,5. Air digunakan sebagai salah satu bahan penyusun beton dan sebagai bahan perawatan beton (*curing*). Air akan bereaksi dengan semen, serta menjadi bahan pelumas antara butiran agregat agar mudah dipadatkan dan dikerjakan.

### 5. *Superplasticizer*

*Superplasticizer* adalah jenis zat aditif yang digunakan dalam campuran beton dan mortar untuk meningkatkan *workability* (kemampuan alir) dari campuran tersebut tanpa mengurangi kekuatan beton. *Superplasticizer* bekerja dengan mengurangi kekuatan tarik antara partikel semen dan air,

sehingga campuran beton menjadi lebih cair dan mudah dicor atau diaplikasikan pada permukaan yang sulit dijangkau. *Superplasticizer* berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Tiga jenis *superplasticizer* yang dikenal adalah (1) *Sulfonat Melamin Formaldehid* (SMF) dengan kandungan klorida sebesar 0,005% (2) *Sulfonat Nafthalin Formaldehid* (SNF) dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan, dan (3) *Lignosulfonat* tanpa kandungan klorida. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kekuatan tekan beton (Mulyono, 2003). Jenis SMF dan SNF yang disebut garam sulfonik lebih sering digunakan karena lebih efektif dalam mendispersikan butiran semen, juga mengandung unsur-unsur yang memperlambat pengerasan. Jumlah *superplasticizer* yang digunakan relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya pemisahan (*segregasi/bleeding*). Menurut ASTM C494-82 *superplasticizer* terbagi menjadi 7 jenis:

1. Tipe A : *Water Reducer* (WR) atau *plasticizer*

Merupakan bahan kimia tambahan yang dapat membantu mengurangi jumlah kadar air. Penggunaan bahan tambah ini menghasilkan adukan beton dengan faktor air semen yang kecil pada nilai kekentalan adukan beton.

2. Tipe B : *Retarder*

Merupakan bahan kimia yang dapat memperlambat proses pengikatan beton. Penggunaan bahan ini untuk mendapatkan waktu yang cukup lama antara proses pencampuran dengan penuangan adukan. Dimana jarak antara tempat pencampuran dan tempat penuangan adukan cukup jauh.

3. Tipe C : *Accelerator*

Merupakan bahan kimia yang berfungsi untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan beton.

4. Tipe D : *Water Reducer Retarder* (WRR)

Merupakan bahan kimia tambahan yang berfungsi untuk mengurangi air dan dapat memperlambat proses pengikatan.

5. Tipe E : *Water Reducer Accelerator* (WRA)

Merupakan bahan kimia tambahan yang berfungsi untuk mengurangi air dan dapat mempercepat proses pengikatan.

6. Tipe F : *High Range Water Reducer* (HRWR)

Merupakan bahan kimia yang dapat digunakan untuk mengurangi air sampai 12% atau lebih.

7. Tipe G : *High Range Water Reducer Retarder* (HRWRR)

Merupakan bahan kimia tambahan yang dapat mengurangi air dan mempercepat proses pengikatan dan pengerasan beton. Penggunaan bahan kimia pada campuran beton lebih kecil dibandingkan bahan utama.

6. Serat

Menurut Tjokrodinuljo (2007) menyatakan bahwa serat dianggap sebagai agregat yang bentuknya sangat tidak bulat yang akan mengakibatkan berkurangnya kelecakan dan mempersulit segregasi. Serat juga berguna untuk mencegah terjadinya retak sehingga menjadikan beton serat lebih daktail dari beton biasa. Menurut ACI Committee 544 (1982) mengklasifikasikan tipe serat secara umum sebagai perkuatan beton, yaitu antara lain:

1. SRFC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*)
2. GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*)
3. SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)
4. NFRC (*Natural Fiber Reinforced Concrete*).

Serat tersebut dicampur ke dalam adukan beton dengan persentase penambahan serat bervariasi sesuai dengan jenis serat yang digunakan. Kawat yang digunakan sebagai *fiber* antara lain kawat biasa, kawat bendrat, dan kawat baja. Diameter yang dipilih adalah  $\pm 0,8$  s/d  $1,0$  mm, lalu dipotong dengan panjang  $\pm 6$  cm. Suhendro (2000), kawat bendrat

mempunyai kuat tarik sebesar  $38,5 \text{ N/mm}^2$ , perpanjangan saat putus  $5,5 \%$  dan berat jenis  $6,68$ . Nilai *aspect ratio*  $60 - 70$  memberikan hasil yang optimal karena *pull-out resistance* cukup tinggi dan memberikan kelecakan yang baik. Sifat-sifat berbagai macam kawat yang digunakan sebagai bahan *fiber* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Sifat-sifat macam kawat yang digunakan sebagai bahan *fiber* (Suhendro, 2000)

Jenis Kawat	Kuat Tarik (Mpa)	Perpanjangan pada saat putus	Spesific Gravity
Kawat Baja	230,0	10,5	7,77
Kawat Bendrat	38,5	5,5	6,68
Kawat Biasa	25,0	30,0	7,70

Menurut Soroushian & Bayasi (1991), beberapa jenis baja yang biasa digunakan dalam campuran beton antara lain:

1. Bentuk serat baja (*Steel fiber shapes*)  
Bentuk-bentuk serat baja 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*).
2. Penampang serat baja (*Steel fiber cross section*)  
Penampang serat baja terdiri dari lingkaran (*round/wire*), persegi/lembaran (*rectangular/sheet*), dan tidak teratur/bentuk dilelehkan (*irregular/melt extract*).
3. Serat yang dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fibers glued together into a bundle*).

Serat kaca memiliki karakteristik unggul dalam kekuatan, kekakuan, ketahanan terhadap korosi, dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Bahan dasar serat kaca dibuat dari bahan dasar kaca yang terdiri dari campuran utama *oksida silikon* ( $\text{SiO}_2$ ). Bahan-bahan tambahan seperti *oksida aluminium*, *oksida kalsium*, *oksida magnesium*, dan *oksida boron* juga

dapat ditambahkan untuk memodifikasi sifat-sifat serat kaca sesuai kebutuhan. Kelemahan serat ini yaitu mudah rusak akibat *alkali* yang terkandung dalam semen dan mempunyai harga beli yang lebih tinggi bila dibandingkan serat lainnya Soroushian & Bayasi (1987).

Serat polimer telah diproduksi sebagai hasil dari penelitian dan pengembangan industri petrokimia dan tekstil. Serat polimer termasuk *aramid, acrylic, nylon* dan *polypropylene* mempunyai kekuatan tarik yang tinggi tetapi modulus elastisitas rendah, daya lekat dengan matrik semen yang rendah, mudah terbakar dan titik lelehnya rendah.

Serat karbon digunakan untuk memenuhi kebutuhan tarik yang tinggi dan kuat lentur yang tinggi. Serat karbon memiliki modulus elastisitas yang sama bahkan dua hingga tiga kali lebih besar dari baja.



Gambar 1. Serat baja 3D Dramix.



Gambar 2. Serat kawat bendrat yang berbentuk gulungan.



### 2.3 Beton Serat

Beton serat (*fiber reinforced concrete*) menurut ACI Committee adalah konstruksi beton dengan bahan susun semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat (*fiber*). Beton pada dasarnya adalah suatu bahan yang dibuat dengan menambah potongan-potongan serat kedalam campuran adukan beton dengan jumlah tertentu. Ariatama (2007), mengemukakan bahwa salah satu bahan adiktif/ tambahan pada beton adalah serat. Beton yang ditambahkan serat disebut beton serat (*fiber reinforced concrete*). Selanjutnya, karena ditambahkan serat menjadi suatu bahan komposit, yaitu: beton dan serat. Serat menurut jenisnya dibedakan menjadi SRFC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*), GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*), SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*), NFRC (*Natural Fiber Reinforced Concrete*).

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang beton, yaitu SNI 2847:2013, memberikan pedoman tentang penggunaan serat beton. Jenis serat beton SNI 2847:2013 membedakan dua jenis serat beton yang dapat digunakan, yaitu serat baja dan serat *polipropilena* (serat plastik). Serat baja digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik beton, sedangkan serat *polipropilena* digunakan untuk mengontrol retakan dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi.

Beton serat adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat umumnya berupa batang diameter antara 5 dan 500  $\mu\text{m}$  (mikrometer) dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm. Dan bahan serat dapat berupa serat asbes, tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serta plastik (*polypropylene*), Tjokrodikuljo (1996).

Apabila serat yang dipakai memiliki modulus elastisitas lebih tinggi daripada beton, seperti kawat baja, maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, kuat tarik, maupun modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi dari beton biasa Sudarmoko dalam, Tjokrodikuljo (1996).

Tujuan utama penambahan serat ke dalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, dengan adanya serat, beton menjadi tahan benturan dan lebih tahan

retak. Saat pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton namun menambah daktilitas beton Tjokrodinuljo (1996). Sedangkan secara umum, hal-hal yang harus diperhatikan pada beton serat yaitu:

1. Masalah *workability* yang menyangkut kemudahan dalam proses pengerjaan.
2. Terjadinya *balling effect* (bola efek) yaitu serat menggumpal seperti bola dan tidak menyebar secara merata pada saat pencampuran. *Balling effect* (bola efek) merupakan peristiwa menggumpalnya serat *fiber* pada saat pencampuran berbentuk seperti bola dan tidak menyebar secara merata sehingga perlu diusahakan penyebaran serat *fiber* secara merata pada adukan beton.
3. Masalah *mix design* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kelecakan yang memadai, maka diperlukan ketelitian yang baik.
4. Terjadi korosi pada serat jika tidak terlindung dengan baik oleh beton.

## 2.4 Kuat Tekan & Kuat Tarik Lentur

### 2.4.1 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton per satuan luas. Berdasarkan SNI 1974:2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

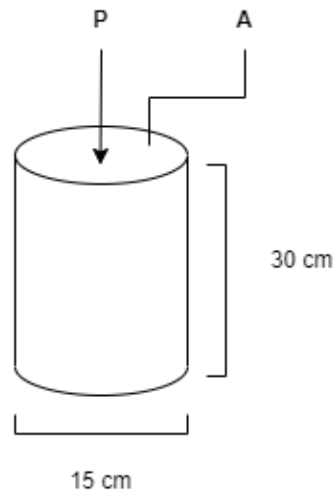
$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

$f'c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$P$  = Beban maksimum (N)

$A$  = Luas penampang silinder (mm<sup>2</sup>)



Gambar 3. Pengujian kuat tekan pada benda uji silinder.

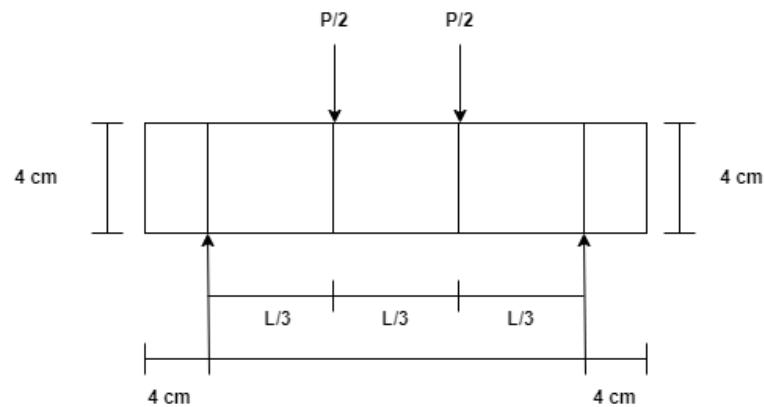
#### 2.4.2 Kuat Tarik Lentur

Kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah (SNI 4431:2011). Kuat lentur dilakukan dengan membebani balok pada tengah-tengah bentang atau pada setiap sepertiga bentang. Beban ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi terletak pada sekitar tengah-tengah bentang. Sesuai dengan ASTM C-78 (*third point loading*), nilai kuat lentur beton dapat dihitung dengan persamaan:

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

Keterangan :

- $\sigma_t$  = Kuat tarik lentur benda uji (MPa)
- $P$  = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (N)
- $L$  = Jarak antara 2 (dua) garis perletakan (mm)
- $b$  = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- $h$  = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)



Gambar 4. Perletakan dan pembebanan kuat tarik lentur.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Denny (2015) meneliti tentang penggunaan *consol fiber steel* sebagai campuran pada balok beton bertulang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk kuat tekan, beton dengan jumlah kadar serat 0,75% merupakan campuran yang paling efisien dengan hasil 18,90 MPa. Sedangkan untuk momen nominal, beton dengan jumlah kadar serat 0,5% merupakan campuran yang paling efisien dengan hasil 1,47 kNm. Berikut ini merupakan hasil analisis lengkap dari *consol fiber steel* terhadap kuat tekan dan tes momen nominal disajikan dalam tabel.

Tabel 7. Analisis hasil tes kuat tekan (Denny dkk., 2015)

No	Jenis Beton	7		14		28	
		MPa	% Kuat tekan	MPa	% Kuat tekan	MPa	% Kuat tekan
1.	Beton Tanpa Serat	14,30		15,11		15,74	
2.	Beton Serat 0,5 %	15,83	10,70%	16,31	7,94%	16,63	5,65%
3.	Beton Serat 0,75 %	19,87	38,95%	19,15	26,74%	18,90	20,08%
4.	Beton Serat 1%	17,47	22,17%	17,43	15,35%	17,31	9,97%

Analisis hasil test momen nominal sesuai dengan umur hari yaitu 7 hari, 14 hari, 28 hari. Dapat diketahui bahwa untuk beton tanpa serat diperoleh nilai terbesar pada hari ke 28 yaitu 6,18 MPa. Untuk beton serat 0,5% diperoleh nilai terbesar pada hari ke 28 yaitu 7,05 MPa. Beton dengan serat 0,75% diperoleh nilai kuat tekan terbesar pada hari ke 28 yaitu 7,17 MPa. Sedangkan untuk beton serat 1% diperoleh nilai kuat tekan terbesar yaitu pada hari ke 28 dengan nilai 7,37 MPa, dengan masing-masing persentase kenaikan pada hari ke 28. Hasil analisis lengkap dari *consol fiber steel* terhadap tes momen nominal dan disajikan dalam bentuk Tabel 8.

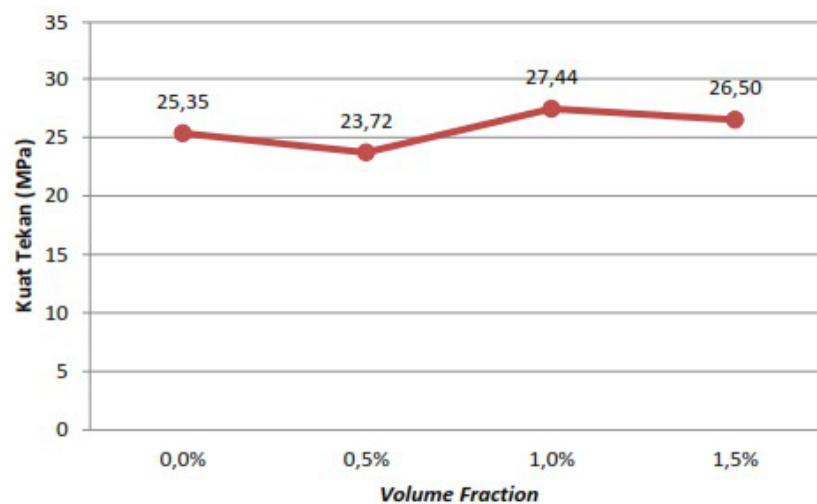
Tabel 8. Analisis hasil tes momen nominal (Denny dkk., 2015)

No.	Jenis Beton	7		14		28	
		MPa	% Kenaikan tes momen nominal	MPa	% Kenaikan tes momen nominal	MPa	% Kenaikan tes momen nominal
1.	Beton Tanpa Serat	5,73		6		6,18	
2.	Beton Serat 0,5 %	6,05	5,58%	6,69	11,5%	7,05	14,08%
3.	Beton Serat 0,75 %	6,14	7,16%	6,83	13,83%	7,17	16,02%
4.	Beton Serat 1%	6,26	9,25%	7,01	16,83%	7,37	19,22%

Rasjidi dkk., (2001) meneliti tentang optimalisasi penggunaan bendrat melalui pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton serat. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kuat tekan optimal umur 28 hari pada penggunaan konsentrasi serat 4%, panjang serat 5 cm, yaitu  $fc' = 368,599 \text{ kg/cm}^2$ , terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 83% terhadap beton tanpa serat dan kuat tarik optimal umur beton 28 hari yaitu pada penggunaan konsentrasi serat 4%, panjang serat 6 cm yaitu  $fc' = 45,772 \text{ kg/cm}^2$  terjadi peningkatan kuat tarik sebesar 40,275%.

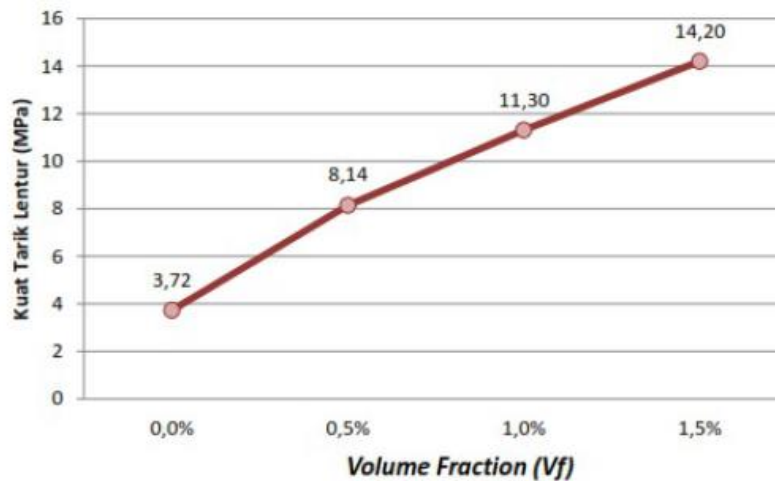
Sasmita dkk., (2017) meneliti tentang pengaruh *steel fiber* pada kekuatan tekan pipa beton, dengan dimensi pipa beton berdiameter luar 15 cm, diameter lubang 5 cm, dan tinggi 30 cm. Hasil penelitian menunjukkan, penambahan *steel fiber* dapat meningkatkan kuat tekan pipa beton. Semakin tinggi kadar *steel fiber* semakin besar kuat tekan pipa beton tersebut. Penambahan *steel fiber* sebanyak 0,3% meningkatkan kuat tekan pipa beton hingga 27%.

Putra dkk., (2020), didapatkan penelitian dari hasil uji kuat tekan tidak mengalami perbedaan yang signifikan dengan adanya penambahan serat baja. kuat tarik lentur balok beton tertinggi terdapat pada *volume fraction* 1,5% dan mengalami peningkatan sebesar 281,42% dari *volume fraction* 0%, dan kuat lentur balok beton bertulang dengan beban maksimum terdapat pada *volume fraction* 1,5% dan mengalami peningkatan sebesar 56,64% dari *volume fraction* 0%. Penambahan serat baja pada balok beton bertulang menyebabkan balok tersebut menjadi lebih kaku. Berikut ini merupakan hasil gambar grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tekan beton yang disajikan pada Gambar 5.



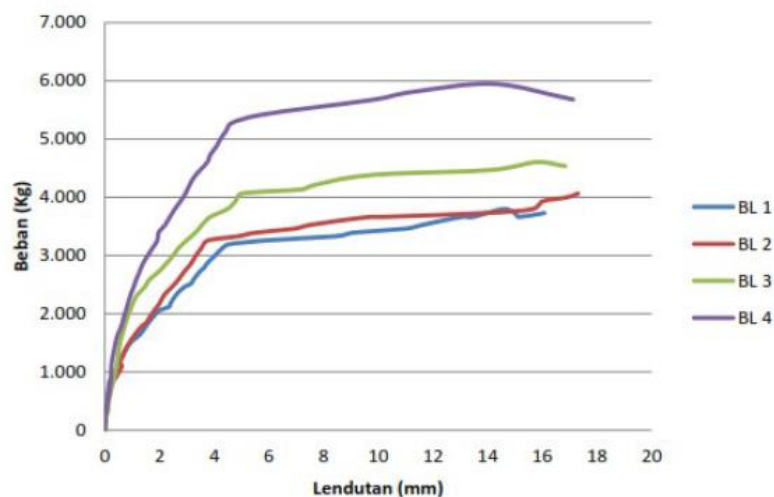
Gambar 5. Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tekan beton. (Putra dkk., 2020).

Dari hasil penelitian diketahui bahwa dengan penambahan serat baja *volume fraction* 1% dalam adukan beton menghasilkan kuat tekan beton tertinggi sebesar 27,44 MPa. Penambahan serat 1% mengalami peningkatan kuat tekan beton sebesar 5,39 % dari kuat tekan beton *volume fraction* 0 % yaitu 25,35 Mpa. Berikut ini merupakan hasil gambar grafik dari grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tarik lentur beton disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tarik lentur beton. (Putra dkk., 2020).

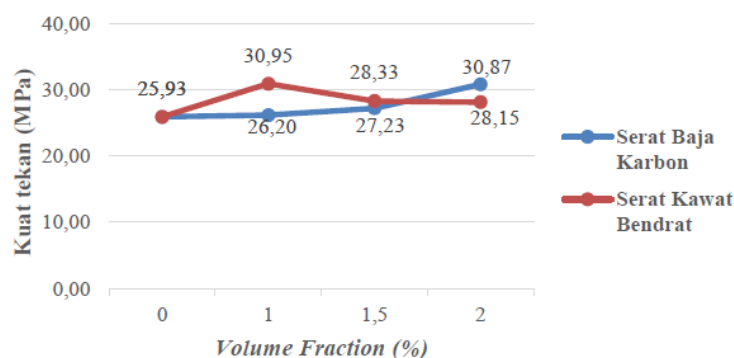
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi volume fraksi serat baja, maka semakin tinggi tegangan tarik lentur beton. Kuat lentur balok beton tertinggi terdapat pada *volume fraction* 1,5% yaitu sebesar 14,20 MPa. Berikut ini merupakan hasil gambar grafik hubungan antara beban dan lendutan tengah batang disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara beban dan lendutan tengah bentang. (Putra dkk., 2020)

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan serat baja pada balok beton bertulang dapat meningkatkan kekakuan balok dan kapasitas beban maksimum balok.

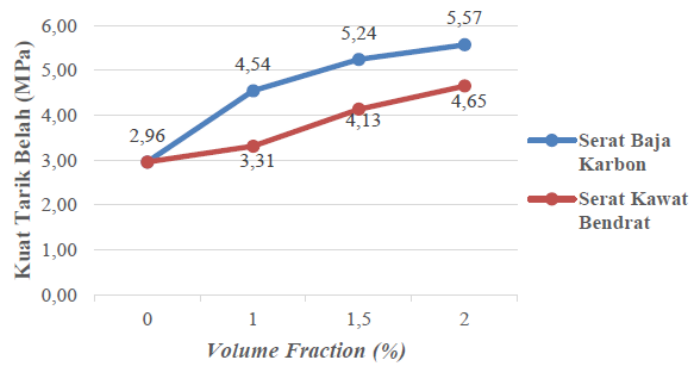
Riana dkk., (2022), meneliti tentang penambahan serat baja karbon 3D Dramix dan serat kawat bendrat dengan volume fraksi sebesar 0%, 1%, 1,5% dan 2% dari volume adukan beton normal dan diuji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Hasil penelitian yaitu kuat tekan maksimum terjadi pada penambahan serat kawat bendrat pada *volume fraction* 1% mengalami peningkatan sebesar 19,33% dari kuat tekan beton *volume fraction* 0%, kuat tarik belah maksimum terjadi pada penambahan serat baja karbon 3D Dramix pada *volume fraction* 2% mengalami peningkatan sebesar 88,38% dari kuat tarik belah beton *volume fraction* 0%, dan kuat tarik lentur maksimum terjadi pada penambahan serat baja karbon 3D Dramix pada *volume fraction* 2% mengalami peningkatan sebesar 465,63% dari kuat tarik lentur beton *volume fraction* 0%. Penambahan serat baja karbon 3D Dramix lebih signifikan dibandingkan serat kawat bendrat. Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tekan beton pada serat baja karbon dan serat kawat bendrat disajikan Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tekan beton. (Riana dkk., 2022).

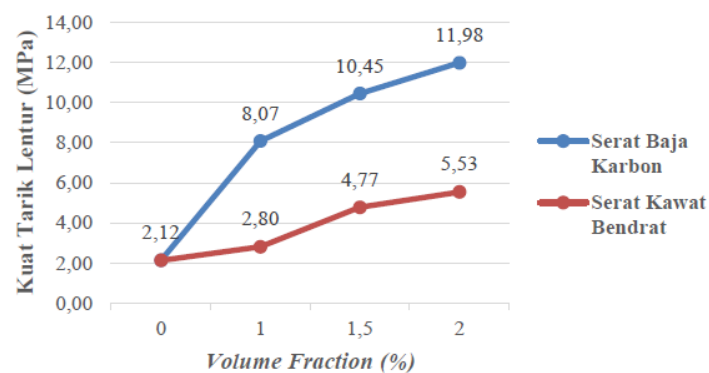


Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tarik belah beton pada serat baja karbon dan serat kawat bendrat disajikan Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tarik belah. (Riana dkk., 2022).

Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tarik lentur beton pada serat baja karbon dan serat kawat bendrat disajikan Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hubungan antara *volume fraction* dan kuat tarik lentur. (Riana dkk., 2022).

### **III. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kombinasi kawat bendrat dengan serat baja 3D Dramix pada kuat tekan dan kuat tarik lentur. Metode yang dilakukan adalah metode eksperimental laboratorium pada Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung dengan menambahkan kombinasi kadar serat baja 3D Dramix dan kawat bendrat pada volume fraksi 0%, 1%, 1,5%. Pada penelitian ini benda uji berjumlah 48 buah. Dengan masing-masing dari pencampuran tersebut dibuat 3 buah sampel dari setiap kadar variasi kombinasi serat kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik lentur menggunakan sampel silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk kuat tarik lentur ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm.

Dengan kadar kombinasi kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix yaitu 0%, 1,0% dan 1,5% terhadap volume adukan beton, dengan variasi penambahan kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix 0%, kawat bendrat 0,5% serat baja 3D Dramix 0,5%, kawat bendrat 0,75% serat baja 3D Dramix 0,25%, kawat bendrat 1%, serat baja 3D Dramix 1%, kawat bendrat 1,25% serat baja 3D Dramix 0,25%, kawat bendrat 1,0% serat baja 3D Dramix 0,5%, dan kawat bendrat 1,5%.

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian yang berjudul Analisis Kombinasi Campuran Serat Baja dan Kawat Bendrat pada beton konvensional dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung yaitu di Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng, Kota Bandar Lampung.

### 3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Berikut ini adalah alat dan bahan yang dipersiapkan sebelum dilakukannya penelitian di Laboratorium.

#### 1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

##### a. Cetakan Benda Uji

Cetakan digunakan untuk mencetak beton dengan bentuk silinder dan balok. Cetakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan pada pengujian kuat tekan dan kuat tarik lentur beton cetakan balok ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm.

##### b. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat masing-masing bahan penyusun beton sesuai dengan komposisi yang direncanakan. Timbangan yang digunakan yaitu timbangan berkapasitas maksimum 50 kg dengan ketelitian pembacaan 10 gram yang digunakan untuk mengukur berat beton (timbangan besar) dan timbangan berkapasitas maksimum 12 kg dengan ketelitian pembacaan 1 gram digunakan untuk mengukur berat bahan campuran beton (timbangan kecil).

##### c. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan pada saat pengujian material yang membutuhkan kondisi kering. Oven yang digunakan mempunyai kapasitas suhu maksimum 110° C dengan daya sebesar 2800 *Watt*.

##### d. Satu set saringan

Alat ini digunakan untuk mengukur gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat halus dan agregat kasar. Untuk penelitian ini gradasi agregat halus dan agregat kasar berdasarkan standar ASTM C-33. Ukuran saringan yang digunakan untuk pengujian 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. 5. Botol *La Chatelier* Alat ini digunakan untuk mengetahui berat jenis dari

PCC (*Portland Composite Cement*). Alat ini memiliki kapasitas sebesar 250 ml.

e. Piknometer

Alat ini digunakan untuk mengetahui berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*), berat jenis kering, berat jenis semu dan penyerapan agregat halus.

f. Alat Vicat

Alat ini digunakan untuk mengetahui waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir pada PCC (*Portland Composite Cement*).

g. Mesin Pengaduk Beton (*Concrete Mixer*)

Alat ini berfungsi untuk mengaduk campuran beton. Alat yang digunakan ini memiliki kapasitas 0,125 m<sup>3</sup> dengan kecepatan 20-30 putaran per menit.

h. *Slump Test*

Kerucut Abrams yang digunakan beserta tilam pelat baja dan tongkat baja ini berfungsi untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan secara sederhana dengan percobaan *slump test*. Ukuran kerucut Abrams memiliki diameter bagian bawah 200 mm, diameter bagian atas 100 mm, dan tinggi 300 mm. Ukuran tongkat baja memiliki panjang 60 cm dan diameter 16 mm.

i. Mesin Penggetar Internal (*Vibrator*)

Alat ini digunakan sebagai pemadat beton segar yang berupa tongkat. Alat ini digetarkan dengan mesin dan dimasukkan ke dalam beton segar yang baru saja dituang. Tujuannya untuk menghilangkan rongga-rongga udara sehingga kerekatan antara bahan penyusun beton semakin maksimal.

j. *Compressing Testing Machine* (CTM)

Alat uji tekan merk CONTROLS ini digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan beton silinder. CTM yang digunakan berkapasitas beban maksimum 3000 kN, serta kecepatan pembebanan sebesar 0,14 – 0,34 MPa/det.

k. Bak Perendam

Alat ini digunakan sebagai tempat perawatan beton dengan cara perendaman. Bak perendam yang digunakan berisi air tawar dengan ukuran panjang 3 m, lebar 1 m, dan tinggi 0,5 m.

1. *Hydraulic Jack* dan *Proving Ring* dalam *Loading Frame*

*Hydraulic Jack* digunakan 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.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

a. Semen

Semen Portland ditambah aditif seperti abu terbang, terak, atau silika digabungkan untuk membuat semen PCC, juga dikenal sebagai Semen Komposit Portland. Campuran ini digunakan dalam konstruksi karena memiliki keunggulan yaitu kekuatan tarik yang lebih besar, lebih tahan korosi, serta meningkatkan ketahanan retak. Jenis semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu semen PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merk dagang Semen Padang, yang didapat dari toko dalam keadaan baik dan tertutup dalam kemasan (zak) 50 kg.

b. Agregat Kasar

Pada penelitian ini, terlebih dahulu agregat kasar diuji agar memenuhi standar ASTM. Pengujian yang dilakukan berupa kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, serta berat volume agregat. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang diperoleh dari Tanjungan, Lampung Selatan dengan ukuran maksimum sebesar 20 mm.

c. Agregat Halus

Pada penelitian ini, terlebih dahulu agregat halus diuji agar memenuhi standar ASTM. Pengujian yang dilakukan berupa kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, kadar lumpur, kandungan zat organik, serta

berat volume agregat. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari Gunung Sugih, Lampung Tengah.

d. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung. Air yang digunakan untuk campuran beton yaitu air yang bersih serta bebas dari bahan-bahan tercemar, tidak mengandung bahan organik yang dapat menyebabkan korosi, serta air yang digunakan tidak mengandung asam atau alkali dengan pH antara 6-8,5.

e. *Superplasticizer*

*Superplasticizer* adalah jenis zat aditif yang digunakan dalam campuran beton dan mortar untuk meningkatkan *workability* (kemampuan alir) dari campuran tersebut tanpa mengurangi kekuatan beton. *Superplasticizer* bekerja dengan mengurangi kekuatan tarik antara partikel semen dan air, sehingga campuran beton menjadi lebih cair dan mudah dicor atau diaplikasikan pada permukaan yang sulit dijangkau. Jumlah *superplasticizer* yang digunakan relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya pemisahan (*segregasi/bleeding*). Kadar kandungan *superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah MBI-261, dengan *admixture* tipe F (HRWR) *High Range Water Reducer*.

f. Serat

Serat yang digunakan dalam penelitian kali ini ada dua, yaitu aspek rasio kawat bendrat yaitu (l/d) 75 dengan diameter 0,8 mm dan panjang 60 mm. Aspek rasio serat baja 3D Dramix dengan tipe ujung berkait (*hooked*) yaitu (l/d) 80 dengan diameter 0,75 mm dan panjang 60 mm.

### 3.3 Prosedur Pelaksanaan

Pada tahap ini prosedur pelaksanaan dibagi menjadi beberapa tahap yaitu persiapan bahan, pemeriksaan pengujian material, perencanaan *mix design*,

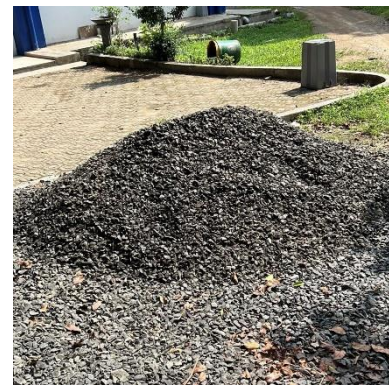
pembuatan benda uji, pemeliharaan terhadap benda uji (*curing*), pelaksanaan pengujian, serta analisis hasil penelitian.

### 3.3.1 Persiapan Bahan

Pada tahap persiapan bahan dilakukan terlebih dahulu agar penelitian dapat berlangsung lancar tanpa adanya hambatan. Persiapan bahan meliputi pengadaan semen, agregat kasar, agregat halus, air yang memadai, *Superplasticizer*, serta serat. Berikut ini disajikan foto bahan pada Gambar 11.



a.



b.



c.



d.



e.



f.



g.

Gambar 11. Bahan, a. Semen b. Agregat kasar c. Agregat halus d. Air  
e. *Superplasticizer* f. Dramix g. Bendrat.

### 3.3.2 Pemeriksaan Pengujian Material

Pemeriksaan pengujian material yaitu proses uji bahan agar layak dan memenuhi standar ASTM. Dalam penelitian kali ini pemeriksaan bahan pembuatan meliputi pemeriksaan agregat kasar, agregat halus dan pengujian semen. Pengujian yang dilakukan adalah 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 berat jenis semen

Setelah didapatkan data hasil pengujian bahan maka dapat mengetahui sifat bahan serta bahan tersebut memenuhi persyaratan atau tidak, selain itu data yang didapat digunakan untuk perhitungan perencanaan *mix design*. Data hasil pengujian bahan, berdasarkan ketentuan standar ASTM disajikan pada Lampiran A atau Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pemeriksaan pengujian material penyusun

Jenis Pengujian	Material yang Dipakai	Nilai Hasil Pengujian	Standar ASTM
Kadar air	Agregat Halus	0,98%	0-3%
	Agregat Kasar	2,19%	0-1%
Berat jenis	Agregat Halus	2,6	2,5-2,9
	Agregat Kasar	2,8	2,0-2,9
Penyerapan	Agregat Halus	1%	1-3%
	Agregat Kasar	1,3%	1-3%
Berat volume	Agregat Halus	2,4	-
	Agregat Kasar	6,9	-
Kadar lumpur	Agregat Halus	2,2%	<5%
Kandungan zat organik	Agregat Halus	Nomor 2	Tidak lebih gelap dari warna standar

Dari data diatas dapat diketahui bahwa bahan material yang digunakan sudah layak, baik dan memenuhi standar, hal ini terlihat pada nilai hasil pengujian yang masuk pada kategori *range* batas-batas yang ditentukan sesuai dengan standar ASTM.

### 3.3.3 Perencanaan *mix design*

*Mix design* dalam pelaksanaan campuran beton bertujuan untuk menentukan komposisi campuran antara air, semen, agregat halus, agregat kasar didalam proses pembuatan adukan beton dengan kekuatan tertentu. Perencanaan *mix design* ini diterapkan pada seluruh sampel yang akan dibuat untuk menjaga keseragaman pada keseluruhan sampel agar dapat diketahui dengan pasti bagaimana hasil kombinasi campuran variasi kawat bendrat dan serat baja terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur. Dalam perencanaan *mix design* pada penelitian ini digunakan metode ACI. Dengan kekuatan yang direncanakan ( $f'c$ ) beton normal. Dengan mengikuti prosedur pada metode tersebut maka akan diperoleh kebutuhan bahan-bahan susun beton serat untuk 1 m<sup>3</sup>. Dalam perencanaan *mix design* penelitian ini digunakan benda uji sampel silinder dan balok, dengan masing-masing volume dihitung lalu dapat diketahui volume adukan beton yang diperlukan untuk total sampel yang dibutuhkan.

Pada penelitian ini dilakukan *trial mix* agar mendapatkan hasil konsistensi beton yang tepat. *Trial mix* dilakukan secara berulang kali, karena penambahan *superplasticizer* membuat beton terlalu encer, sehingga dalam penambahan *superplasticizer* harus dilakukan dengan komposisi yang sesuai.

Variasi penggunaan serat 3D Dramix dan serat kawat bendrat yaitu 0%, 1%, dan 1,5% dari volume adukan beton, dengan variasi penambahan kawat bendrat dan serat baja 3D Dramix 0%, kawat bendrat 0,5% serat baja 3D Dramix 0,5%, kawat bendrat 0,75% serat baja 3D Dramix 0,25%, kawat bendrat 1%, serat baja 3D Dramix 1%, kawat bendrat 1,25% serat baja 3D Dramix 0,25%, kawat bendrat 1,0% serat baja 3D Dramix 0,5%, kawat bendrat 1,5%. Kebutuhan material per m<sup>3</sup> beton *volume fraction* 0%, 1%, dan 1,5% disajikan pada tabel berikut.

Tabel 10. Kebutuhan material per m<sup>3</sup> beton normal volume fraksi 0% serat

Volume Fraksi 0%	Material (kg)				
	Semen	Pasir	Split	Air	SP 1%
BN	429,86	754,94	982,17	203	4,29

Tabel 11. Kebutuhan material per m<sup>3</sup> beton serat campuran serat baja 3D dramix dan kawat bendrat dengan volume fraksi 1%

Kombinasi Campuran (%)		Material (kg)						
Dramix	Bendrat	Semen	Pasir	Split	Air	Serat 3D	Serat Kawat	SP 1 %
						Dramix	Bendrat	
0,5	0,5	448,36	787,43	1024,4	211,73	39,25	33,4	4,48
0,25	0,75	448,36	787,43	1024,4	211,73	19,63	50,1	4,48
1	0	448,36	787,43	1024,4	211,73	78,5	0	4,48
0	1	448,36	787,43	1024,4	211,73	0	66,8	4,48

Tabel 12. Kebutuhan material per m<sup>3</sup> beton serat campuran serat baja 3D dramix dan kawat bendrat dengan volume fraksi 1,5%.

Kombinasi Campuran (%)		Material (kg)						
Dramix	Bendrat	Semen	Pasir	Split	Air	Serat 3D	Serat Kawat	SP 1 %
						Dramix	Bendrat	
0,5	1	446,20	783,63	1019,5	210,71	39,25	66,8	4,46
0,25	1,25	446,20	783,63	1019,5	210,71	19,63	83,5	4,46
0	1,5	446,20	783,63	1019,5	210,71	0	100,2	4,46

Dengan mengikuti prosedur pada metode ACI diperoleh kebutuhan bahan-bahan susun beton normal dan beton serat untuk 1 m<sup>3</sup>. Pada perhitungan *mix design* lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran B.

### 3.3.4 Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dihasilkan sebanyak total 48 sampel, dengan benda uji silinder dan ukuran benda uji silinder yaitu diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk pengujian kuat tekan berjumlah 24 sampel dan kuat tarik lentur berjumlah 24 sampel dengan benda uji balok ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm. Semua sampel dilakukan pada pengujian di hari ke 28, dengan keterangan masing-masing sampel pada *volume fraction* disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Data jumlah benda uji untuk kuat tekan & kuat tarik lentur.

VF Serat Kawat Bendrat & Serat Baja	Spesimen	Jenis Serat	Kadar Serat	Jumlah Benda Uji Kuat Tekan	Jumlah Benda Uji Kuat Tarik
0%	BN	Tanpa Serat	0%	3	3
1,0%	B.0,5-	Kawat Bendrat	0,5%	3	3
	D.0,5	3D Dramix	0,5%		
	B.0,75-	Kawat Bendrat	0,75%	3	3
	D.0,25	3D Dramix	0,25%		
	B.1	Kawat Bendrat	1,0%	3	3
	D.1	3D Dramix	1,0%	3	3
1,5%	B.1,25-	Kawat Bendrat	1,25%	3	3
	D.0,25	3D Dramix	0,25%		
	B.1-D.0,5	Kawat Bendrat	1,0%	3	3
		3D Dramix	0,5%		
B.1,5	Kawat Bendrat	1,5%	3	3	
<b>Total Sampel</b>				<b>24</b>	<b>24</b>

Berikut ini disajikan foto proses pembuatan sampel dimulai dari pencampuran material dalam molen hingga pencetakan beton dalam bekisting balok dan silinder pada Gambar 12.



a.



b.



c.

Gambar 12. Proses pembuatan sampel a. Proses pencampuran material dalam molen b. Hasil benda uji sampel silinder c. Hasil benda uji sampel balok.

### 3.3.5 Pemeriksaan *workability*

Uji *slump* dilakukan setelah semua material tercampur dalam molen. Nilai *slump* adalah nilai yang diperoleh dari hasil uji *slump* dengan cara beton segar diisikan ke dalam kerucut terpancung sebanyak  $\frac{1}{3}$  dari tinggi kerucut, lalu ditumbuk sebanyak 25 kali. Kerucut terpancung lalu diisi lagi sebanyak  $\frac{2}{3}$  dari tinggi kerucut, lalu ditumbuk sebanyak 25 kali. Setelah itu kerucut terpancung dipenuhi oleh beton segar lalu diisi lagi sebanyak  $\frac{3}{3}$  kemudian pada bagian atas diratakan menggunakan tongkat *slump*. Setelah kerucut terpancung penuh oleh beton segar, bejana lalu ditarik ke atas sehingga beton segar meleleh kebawah. Besar penurunan permukaan beton segar diukur dan ini yang

disebut nilai *slump*. Semakin besar nilai *slump*, maka beton segar makin encer dan *workability* mudah. Berikut disajikan gambar pemeriksaan *workability* beton menggunakan kerucut *abrams* pada Gambar 13.



Gambar 13. Pemeriksaan *workability* menggunakan kerucut *abrams*.

### 3.3.6 Pemeliharaan terhadap benda uji (*curing*)

Pemeliharaan benda uji atau curing beton adalah proses menjaga kelembaban dan suhu beton dalam periode setelah pengecoran untuk memastikan bahwa beton mengeras dan mengering dengan baik sehingga mencapai kekuatan dan sifat-sifat yang diinginkan. Perawatan ini dilakukan dengan cara merendam benda uji silinder dan balok dalam bak air. Setelah proses *mix design* campuran beton dimasukkan kedalam cetakan selama 24 jam, kemudian cetakan dilepas dan benda uji dimasukkan ke dalam bak penampungan yang berisi air selama 26 hari. Setelah benda uji direndam selama 26 hari kemudian benda uji diangkat dari bak penampungan berisi air, dan benda uji didiamkan selama 24 jam. Pada saat hari ke 28 benda uji lalu dilakukan pengujian kekuatan. Berikut ini merupakan gambar proses *curing* yang dilakukan selama 26 hari disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses *curing* pada bak perendam.

### 3.3.7 Pelaksanaan pengujian

Pada penelitian kali ini sampel dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik lentur. Tujuan pengujian kuat tekan beton dengan CTM adalah untuk menentukan kekuatan atau mutu beton yang disesuaikan dengan kuat beton rencana. *Concrete Testing Machine* atau CTM merupakan alat berkapasitas 3000 kN dengan kecepatan pembebanan 0,14 – 0,34 MPa/detik. Setelah benda uji didiamkan selama 24 jam pada hari ke 28 dilakukan tes uji kuat tekan menggunakan alat CTM. Benda uji silinder beton yang telah dianginkan setelah melalui proses curing diangkat dan ditimbang. Kemudian sampel silinder sebelum dilakukan pengujian dengan alat CTM permukaan tekannya diberi lapisan belerang setebal 1,5-3 mm atau dapat dengan lapisan pasta semen hal ini bertujuan agar permukaan tekan sampel rata sehingga tegangan dapat terdistribusi secara merata. Setelah itu, sampel silinder diletakkan secara vertikal pada alat CTM. Kemudian mesin dihidupkan dan secara perlahan akan menekan sampel silinder. Lalu mengamati setiap perubahan atau penambahan tekanan yang terjadi pada sampel, apabila jarum penunjuk mesin sudah tidak bergerak dan sampel silinder hancur, maka mesin CTM dimatikan. Setelah mesin CTM dimatikan didapat data beban maksimum sehingga dapat dihitung kuat tekan beton. Namun, pada mesin CTM yang terdapat di Laboratorium Bahan dan Konstruksi sudah dilengkapi dengan data beban maksimum dan nilai kuat tekan,

sehingga dapat langsung terlihat nilai kuat tekan beton. Berikut merupakan gambar pengujian kuat tekan dengan alat CTM yang disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengujian kuat tekan dengan alat CTM.

Pada pengujian kuat tarik lentur beton, kuat lentur dapat diteliti dengan membebani balok pada tengah-tengah bentang atau pada setiap sepertiga bentang dengan beban titik  $\frac{1}{2} P$ . Beban ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi terletak pada sekitar tengah-tengah bentang. Secara sederhana, balok beton digambarkan sebagai struktur *simple beam* dengan beban terpusat masing-masing  $\frac{1}{2} P$ . Besarnya momen yang dapat mematahkan benda uji adalah momen akibat beban maksimum dari mesin pembebanan dan berat sendiri dari benda uji. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Berikut merupakan pengujian kuat tarik lentur dengan alat *Hydraulic Jack* dan *Proving Ring* dalam *Loading Frame* disajikan pada Gambar 16.





Gambar 16. Pengujian kuat tarik lentur dengan alat *Hydraulic Jack* dan *Proving Ring* dalam *Loading Frame*.

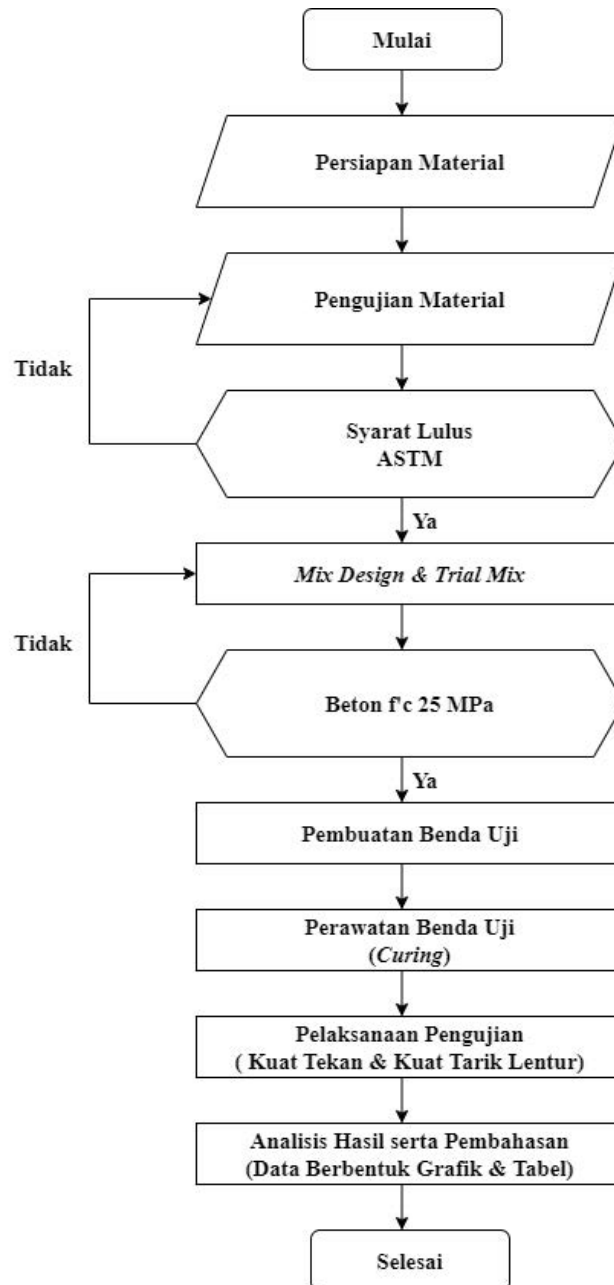
### 3.3.8 Analisis hasil pengujian

Analisis hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kuat tekan beton untuk benda uji silinder ukuran 150 mm dan tinggi 300 mm disajikan dalam bentuk tabel.
2. Menghitung kuat tarik lentur untuk benda uji balok ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm disajikan dalam bentuk tabel.
3. Dari hasil nilai *slump* yang didapat, dibuat grafik hubungan nilai *slump* dan sampel dengan *volume fraction* 1% dan *volume fraction* 1,5%, lalu menganalisis hasil data.
4. Dari hasil pengujian kuat tekan beton dibuat grafik hubungan antara nilai kuat tekan dan sampel dengan *volume fraction* 1% dan *volume fraction* 1,5%, lalu menganalisis hasil data.
5. Dari hasil pengujian kuat tarik lentur dibuat grafik hubungan antara nilai kuat tarik lentur dan sampel dengan *volume fraction* 1% dan *volume fraction* 1,5%, lalu menganalisis hasil data.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilakukan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram alir penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang dilakukan uji kuat tekan dan uji kuat tarik lentur pada *volume fraction* 0%, 1%, dan 1,5% pada masing-masing sampel beton serat dengan benda uji silinder dan balok didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil uji kuat tekan didapatkan penurunan terbesar pada campuran kawat bendrat pada *volume fraction* 1,5% yaitu -25,45% dari beton normal pada B.1,5 dengan nilai kuat tekan rata-rata 18,14 MPa. Sedangkan dari hasil uji kuat tekan campuran Dramix didapatkan penurunan sebesar -0,49% dari beton normal pada sampel D.1 dengan nilai kuat tekan rata-rata 24,22 MPa. Hasil uji kuat tekan campuran kawat bendrat terjadi penurunan sebesar -14,24% dari beton normal pada sampel B.1 dengan nilai kuat tekan rata-rata 20,87 MPa. Untuk hasil uji kuat tekan campuran kombinasi Dramix dan kawat bendrat penurunan terbesar terjadi pada *volume fraction* 1,5% dengan kadar variasi serat Dramix 0,25% dan kawat bendrat 1,25% sebesar -6,20% dari beton normal pada sampel B.1,25-D.0,25, dengan nilai kuat tekan rata-rata 22,83 MPa.
2. Dari hasil uji kuat tarik lentur didapatkan peningkatan terbesar pada campuran kombinasi serat Dramix dan kawat bendrat pada *volume fraction* 1,5% yaitu 215,74% dari beton normal, pada sampel B.1-D.0,5 dengan nilai kuat tarik lentur rata-rata 12,29 MPa. Sedangkan dari hasil uji kuat tarik lentur campuran Dramix didapatkan peningkatan sebesar 133,30% dari beton normal, pada sampel D.1 dengan nilai kuat tarik lentur rata-rata 9,08 MPa. Untuk hasil uji kuat tarik lentur campuran bendrat didapatkan peningkatan sebesar 24,55% dari beton normal, pada sampel B.1,5 dengan nilai kuat tarik lentur rata-rata 4,85 MPa.

3. Dari campuran kombinasi Dramix dan kawat bendrat didapat komposisi efektif yang memberikan hasil paling optimum untuk menaikkan nilai kuat tekan yaitu sampel B.0,5-D.0,5 di *volume fraction* 1% dengan kadar variasi kawat bendrat 0,5% dan Dramix 0,5%.
4. Dari campuran kombinasi Dramix dan kawat bendrat didapat komposisi efektif yang memberikan hasil paling optimum untuk menaikkan nilai kuat tarik lentur yaitu sampel B.1-D.0,5 di *volume fraction* 1,5% dengan kadar variasi kawat bendrat 1% dan Dramix 0,5%.

## 5.2 Saran

Dari pembahasan diatas terdapat beberapa saran, saran ini dapat digunakan bagi peneliti-peneliti selanjutnya untuk mengembangkan hasil skripsi penulis agar menjadi acuan selanjutnya. Berikut ini saran yang diajukan oleh penulis:

1. Saat melakukan penimbangan material bahan dilakukan secara teliti, agar komposisi beton sesuai dengan mutu yang direncanakan.
2. Perlu dilakukan *trial mix* dalam penambahan *superplasticizer* untuk mendapatkan komposisi campuran yang tepat.
3. Dalam penuangan beton ke dalam cetakan dilakukan secara merata agar campuran pengikat dapat bercampur dengan serat secara merata dan tidak terdapat rongga beton.
4. Dalam penelitian campuran kombinasi Dramix dan kawat bendrat, tidak disarankan untuk menambahkan campuran kawat bendrat dengan *volume fraction* diatas 1% karena menurunkan nilai kuat tekan beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 544. (1982). *State of The Art Report on Fiber Reinforced Concrete International*. May 1982, pp 9-25.
- Ariatama, A. (2007). *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- ASTM C 494-81. (1981). *Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*. United States.
- ASTM C 78-02. (2002). *Standard Test Method For Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Third -Point Loading)*. ASTM International, Philadelphia 19428-2959 United States
- ASTM C-33. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. United States.
- Azis, A. (2016). *Studi Tarik Belah Beton Dengan Penambahan Dramix Steel Fiber*, Repository Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Denny. (2015). *Penelitian Awal Tentang Penggunaan Consol Fiber Steel Sebagai Campuran Pada Balok Beton Bertulang*, Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Prijantoro J.P.E., Wallah S. E., & Dapas S. O. (2018) *Perilaku Mekanis Beton Serat dengan Kombinasi Kawat Bendrat dan Dramix 3D*, Sipil Statik, vol. 6, no. 12, pp. 1129–1136, 2018,  
[Online]Available:  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/21319>.
- Karim, A., Meidiani, S., & Ramadhani, R. (2020). *Studi Eksperimen Kombinasi Nilai Slump Tes dengan Fas Tetap Pada Pembuatan Beton Normal  $f_c' 25$  MPa*. TEKNIKA: Jurnal Teknik, 7(2),234.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

- Prijantoro. (2018). *Perilaku Mekanis Beton Serat Dengan Kombinasi Kawat Bendrat Dan Dramix 3d*, Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.12, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Putra, A., Noorhidana, V. A., Isneini, M. (2020). *Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang pada Beton Mutu Normal*, JRSDD, Edisi Juni 2020 Vol. 8, No. 2, Hal:367 – 384, Universitas Lampung.
- Rasjidi. (2001). *Optimalisasi Penggunaan Bendrat Melalui Pengujian Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Serat*, Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Riana, N., Noorhidana, V. A., Irianti, L. (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 Vol. 10, No. 2, Hal: 1-12, Universitas Lampung.
- Sasmita, Y. (2017). *Pengaruh Steel Fiber Pada Kekuatan Tekan Pipa Beton*, Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- SNI 15-7064-2004. (2004). *Semen Portland Komposit. Badan Standarisasi Nasional*. Bandung.
- SNI 1974:2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847-2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 4431. (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Soroushian, P., Bayasi, Z. (1987), *Concept of Fiber Reinforced Concrete, Proceeding of the International Seminar on Fiber Reinforced Concrete*, Michigan State University, Michigan, USA.
- Sudarmoko. (1991). *Kuat Lentur Beton Serat dengan Model Skala Penuh*, Laporan Penelitian, Yogyakarta.
- Suhendro, B. (2000). *Beton Fiber Konsep. Aplikasi, dan Permasalahannya*. Uninersitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Thomas, J., Ramaswamy, A. (2007) *Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 19, No. 5, May. pp. 385-392.

Tjokrodikuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

Tjokrodikuljo, K. (2012). *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Biro Penerbit KMTS FT.

Tjokrodikuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*, Penerbit Nafiri, Jakarta, Indonesia.

## LAMPIRAN