

**PENGARUH SERAT BAJA TERHADAP KUAT TARIK LENTUR  
BALOK BETON YANG DISAMBUNG**

(Skripsi)

Oleh

**TRI RATNA UTAMI  
NPM 1715011005**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH SERAT BAJA TERHADAP KUAT TARIK LENTUR BALOK BETON YANG DISAMBUNG**

**Oleh**

**TRI RATNA UTAMI**

Pengecoran beton pada waktu yang berbeda sering terjadi, hal ini karena waktu pengecoran yang tidak cukup, perluasan atau penyambungan komponen struktur, perkuatan struktur dengan penambahan dimensi dan sebagainya. Dengan demikian akan terjadi penambahan beton lapis baru (*overlay*). Penelitian ini untuk mengetahui kuat tarik lentur balok beton untuk penyambungan beton lama dan beton baru dengan penambahan serat baja volume fraksi 0%, 1%, 1,5% dan 2% pada lapis *substrate* dan lapis *overlay* serta kuat tekan beton pada setiap lapisan. Sampel dalam penelitian ini adalah balok (15 x 15 x 60 cm) dengan ketebalan lapis *substrate* dan lapis *overlay* masing-masing 7,5 cm untuk pengujian kuat tarik lentur dan silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) untuk pengujian kuat tekan. Dari hasil penelitian didapatkan nilai kuat tarik lentur balok penambahan serat baja pada lapis *substrate* lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan serat baja pada lapis *overlay*. Penambahan serat baja pada lapis *substrate* maupun *overlay* membuat perilaku balok menjadi lebih daktail. Nilai kuat tarik lentur maksimum balok penambahan serat baja pada lapis *substrate* terjadi pada volume fraksi 1,5% yaitu mengalami peningkatan sebesar 114,03% dari balok sambungan tanpa serat baja sedangkan penambahan serat baja pada lapis *overlay* terjadi pada volume fraksi 2% yaitu mengalami peningkatan sebesar 8,66% dari balok sambungan tanpa serat baja.

Kata kunci: serat baja, *substrate*, *overlay*, kuat tarik lentur.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF STEEL FIBER ON THE FLEXURAL TENSILE STRENGTH OF JOINTED CONCRETE BEAMS**

**By**

**TRI RATNA UTAMI**

*The casting of concrete at different times often occurs, this is due to insufficient casting time, expansion or connection of structural components, strengthening of structures with additional dimensions, and so on. Thus there will be the addition of a new layer of concrete (overlay). This study is to determine the flexural tensile strength of concrete beams for joining old concrete and new concrete with the addition of steel fiber volume fractions of 0%, 1%, 1.5%, and 2% in the substrate layers overlay and also the compressive strength of the concrete in each layer. The samples in this study were beams (15 x 15 x 60 cm) with a thickness of 7.5 cm for substrate and overlay for flexural tensile strength testing and cylinders (15 cm in diameter and 30 cm in height) for compressive strength testing. From the results of the study, it was found that the flexural tensile strength of the beam with the addition of steel fibers in the substrate layer was higher than the addition of steel fibers in the overlay layer. The addition of steel fibers in the substrate and overlay layers makes the beam more ductile. The maximum flexural tensile strength of the beam with the addition of steel fibers in the substrate layer occurs at volume fraction 1.5%, has an increase of 114.03% from the joint beam without steel fibers while the addition of steel fibers in the overlay layer occurs at volume fraction 2%, has an increase of 8.66% of the joint beams without steel fibers.*

*Keywords: steel fiber, substrate, overlay, flexural strength.*

**PENGARUH SERAT BAJA TERHADAP KUAT TARIK LENTUR  
BALOK BETON YANG DISAMBUNG**

**Oleh  
TRI RATNA UTAMI**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Program Studi S1 Teknik Sipil  
Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2022**

Judul Skripsi

**: PENGARUH SERAT BAJA TERHADAP  
KUAT TARIK LENTUR BALOK BETON  
YANG DISAMBUNG**

Nama Mahasiswa

**: Tri Ratna Utami**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011005

Program Studi

**: S1 Teknik Sipil**

Fakultas

**: Teknik**

**MENYETUJUI**

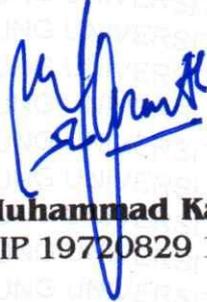
**1. Komisi Pembimbing**

  
**Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP 19740831 200003 2 002

  
**Ir. Surya Sebayang, M.T.**  
NIP 19580124 198703 1 001

**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

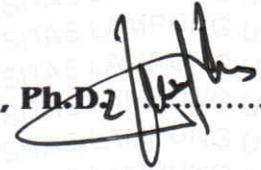
  
**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**  
NIP 19620408 198903 2 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

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



**Sekretaris**

**: Ir. Surya Sebayang, M.T.**



**Penguji**

**Bukan Pembimbing : Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



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

**NIP 19750928 200112 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 April 2022**

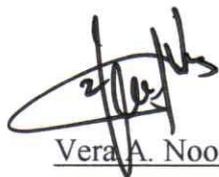
## PERNYATAAN

**Dengan ini saya menyatakan bahwa:**

1. Skripsi saya yang berjudul “*Pengaruh Serat Baja Terhadap Kuat Tarik Lentur Balok Beton yang Disambung*” adalah bagian dari penelitian Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D. mengenai pengaruh serat baja terhadap beton.
2. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 19 Mei 2022

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing Skripsi



Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197408312000032002

Mahasiswa



Tri Ratna Utami  
NPM. 1715011005

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 30 Maret 1999, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Bahrudin dan Ibu Rosdiyah. Penulis memiliki dua kakak, yaitu bernama Berta Safitri dan Reni Hidayanti.

Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Istiqlal Rajabasa diselesaikan pada tahun 2005, Sekolah Dasar di SDN 3 Rajabasa yang diselesaikan pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 22 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2014 dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 9 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2017. Pada tahun 2017 Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Pada tahun 2020 penulis melakukan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Gedung Kantor Kecamatan Tanjung Senang Kota Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Rajabasa, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung selama 40 hari pada periode II, 1 Juli – 10 Agustus 2020. Selama menjadi mahasiswa, penulis tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai sekretaris Divisi Penelitian-Departemen Penelitian dan Pengembangan (Litbang) periode tahun 2019/2020.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah diangkat menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Teknologi Bahan, Statika dan Analisis Statis Tertentu. Selanjutnya penulis mengambil tugas akhir dengan judul Pengaruh Serat Baja Terhadap Kuat Tarik Lentur Balok Beton yang Disambung.

# PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbilalamin Puji syukur kepada ALLAH SWT atas karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.  
Ku persembahkan skripsi ini untuk:

Kedua orang tuaku yang selalu memberi dukungan moril maupun materi dan selalu mendoakan kesuksesanku dalam setiap doa. Terimakasih untuk kesabarannya dalam membimbing dan memberikan arahan serta nasihat yang berguna.

Kakak dan sahabat-sahabatku yang telah mendukungku serta menjadi tempat untuk berbagi cerita dan keluh kesah

Semua dosen yang telah mengajarkan banyak hal. Terimakasih untuk ilmu pengetahuan dan pelajaran hidup yang telah diberikan.

Teman-teman Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017 yang telah memberikan bantuan dan motivasinya selama masa perkuliahanku.

# MOTTO

*“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”*

(QS. Al-Insyirah: 6)

*“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”*

(Q.S. Al-Baqarah: 216)

*“Everyone has their own time, stop comparing, start exploring”*

(Lazy Joker)

*“Everything is going to be alright, maybe not today, but eventually”*

(Unknown)

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “Pengaruh Serat Baja Terhadap Kuat Tarik Lentur Balok Beton yang Disambung” merupakan salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1-Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak bimbingan, ide-ide dan saran serta kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Ir. Surya Sebayang, M.T. selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penyempurnaan skripsi.

7. Bapak Iswan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu dalam masa perkuliahan penulis.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
9. Seluruh teknisi dan karyawan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan dan bimbingan selama penulis melakukan penelitian.
10. Kedua orang tuaku yang tidak henti-hentinya selalu mendoakan dan memberikan motivasi dalam hal apapun untuk keberhasilan Penulis.
11. Kedua kakakku yang selalu memotivasi penulis dan memberikan semangat dalam menyelesaikan perkuliahan serta keponakanku shakadut yang menjadi hiburan dikala penat dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Sekar, Anggi, Jihan, Rara dan Maul yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Sasa, Sylvia, Pina dan Ika yang telah banyak membantu serta menjadi tempat berbagi suka dan duka selama masa perkuliahan penulis.
14. Partner penelitianku Sylvia, Netta, Corry dan Damas yang telah membantu penulis melakukan penelitian dari awal hingga akhir di laboratorium.
15. Tim Rigid Theo, Sehang, Osa, Abiyu, Indra yang telah membantu selama melakukan penelitian di laboratorium.
16. Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan, terimakasih atas kebersamaan kalian. Sukses untuk kita semua.

17. Adik-adik Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2019 & 2021 yang membantu penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium.
18. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan satu per satu, semoga kita semua berhasil menggapai impian.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 12 April 2022  
Penulis

**Tri Ratna Utami**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Beton .....	6
2.2. Bahan Penyusun Beton .....	7
2.3. Beton Serat.....	13
2.4. Prediksi Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton .....	13
2.5. Penelitian Terdahulu .....	15
<b>III. METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Lokasi Penelitian.....	20
3.2. Peralatan Penelitian.....	20
3.3. Bahan Penelitian .....	22
3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.5. Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Keleccakan ( <i>Workability</i> ) .....	33
4.2. Kuat Tekan.....	37
4.3. Kuat Tarik Lentur .....	41
4.4. Perbandingan dengan Persamaan Prediksi Kuat Tekan Beton Serat Baja .....	49

**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan .....	50
5.2. Saran .....	51

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN A (UJI BAHAN)****LAMPIRAN B (*MIX DESIGN*)****LAMPIRAN C (HASIL PENGUJIAN)****LAMPIRAN D (FOTO PENELITIAN)****LAMPIRAN E (SPESIFIKASI SERAT BAJA)**

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Gradasi standar agregat kasar.....	7
2. Gradasi standar agregat halus.....	8
3. Komposisi bahan utama semen.....	9
4. Hasil pengujian material .....	23
5. Kebutuhan total material beton per m <sup>3</sup> .....	24
6. Data jumlah benda uji .....	24
7. Nilai <i>Slump Test</i> dan <i>VB-time</i> pengujian kelecakan beton.....	34
8. Hasil pengujian dan perhitungan kuat tekan beton .....	37
9. Hasil pengujian dan perhitungan kuat tarik lentur beton .....	42
11. Perbandingan kuat tekan beton serat baja antara hasil pengujian dengan persamaan prediksi.....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Jenis-jenis serat baja (Soroushian & Bayasi, 1991).....	12
2. Dimensi benda uji kuat tarik lentur.....	19
3. Pengecoran lapis <i>substrate</i> .....	25
4. Pengecoran lapis <i>overlay</i> .....	25
5. Perawatan benda uji. ....	26
6. <i>Setting up</i> uji kuat tekan.....	28
7. Garis-garis perletakan dan pembebanan. ....	29
8. Patah pada 1/3 bentang tengah.....	29
9. Patah di luar bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang.....	30
10. <i>Setting up</i> uji kuat lentur. ....	30
11. Diagram alir penelitian.....	32
12. Grafik hubungan volume fraksi serat baja dengan nilai <i>slump</i> dan <i>VB-time</i> . .	35
13. Pengukuran nilai <i>slump</i> beton tanpa serat baja (a) dan beton dengan tambahan serat baja (b).....	36
14. Pengukuran nilai <i>VB-time</i> beton tanpa serat baja (a) dan beton dengan tambahan serat baja (b). ....	36
15. Grafik hubungan volume fraksi serat baja dengan kuat tekan beton. ....	38
16. Benda uji beton tanpa serat baja (a) dan dengan penambahan serat baja (b) setelah pengujian kuat tekan. ....	41

17. Grafik hubungan volume fraksi serat baja dengan kuat lentur beton.....	43
18. Grafik perbandingan kuat lentur beton normal dengan sambungan dan beton normal cor monolit.....	45
19. Grafik hubungan kuat tarik lentur dan lendutan balok <i>substrate</i> beton normal dengan <i>overlay</i> variasi serat baja. ....	46
20. Grafik hubungan kuat tarik lentur dan lendutan balok beton <i>substrate</i> variasi serat baja dengan <i>overlay</i> beton normal.....	47
21. Pengujian kuat lentur balok beton tanpa serat.....	48
22. Pengujian kuat lentur balok beton serat pada lapis <i>substrate</i> . ....	48
23. Pengujian kuat lentur balok beton serat pada lapis <i>overlay</i> . ....	48

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu struktur yang sering digunakan pada dunia konstruksi yaitu struktur beton. Struktur beton memiliki keuntungan yang lebih dibandingkan dengan struktur bangunan lain. Menurut Mulyono (2005) beberapa kelebihan struktur beton yaitu beton mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi yang diinginkan, memiliki ketahanan yang baik pada temperatur tinggi, dapat menahan beban yang berat dan murah dalam biaya pemeliharanya.

Beton adalah campuran antara pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lain yang dicampur dengan pasta terbuat dari semen dan air membentuk massa seperti batuan. Selain itu satu atau lebih bahan aditif ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mendapatkan beton dengan sifat tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), daya tahan dan waktu pengerasan (McCormac, 2004).

Seiring dengan perkembangan teknologi peningkatan penggunaan material beton dalam infrastruktur meningkat. Material beton digunakan pada berbagai jenis infrastruktur yang memiliki volume besar sehingga pada pelaksanaan pengecoran membutuhkan suatu metode agar beton dengan volume besar dapat menyatu dengan utuh. Namun pengecoran beton pada waktu yang berbeda sering terjadi, hal ini terjadi karena waktu pengecoran yang tidak cukup, perluasan atau penyambungan komponen struktur, perkuatan struktur dengan penambahan dimensi, dan sebagainya. Dengan demikian akan terjadi penambahan beton lapis baru (*overlay*) yaitu dengan pengecoran beton baru

pada beton lama. Pengecoran ini akan menimbulkan terjadinya *interface* antara beton lama dengan beton baru.

*Interface* atau pertemuan adalah bagian paling rapuh dalam struktur yang menimbulkan masalah pada sambungan antara beton lama dan beton baru. Dalam Widodo (2013), menurut Bakhsh (2010), adhesi *interface* antara lapis *substrate* dan *overlay* dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu permukaan *substrate* yang bersih dari zat-zat kontaminan yang bisa menyebabkan licinnya permukaan beton dan terganggunya lekatan pada sambungan, perlakuan kekasaran terhadap permukaan *substrate*, komposisi beton segar untuk material *overlay/concrete topping*, teknik pengecoran dan pemadatan *overlay/concrete topping*, perawatan, dan umur beton. Júlio et al (2004) menyatakan bahwa terdapat beberapa faktor yang dapat meningkatkan kuat lekat antar beton yaitu umur beton lama saat pengecoran beton baru, perbedaan mutu beton lama dan baru, kekasaran permukaan beton, dan kelembaban beton lama saat pengecoran beton baru. Menurut Fakhrezi (2018) adanya sambungan pada beton akan berpotensi terjadinya penurunan kekuatan akibat adanya dua pengecoran yang berbeda sehingga menyebabkan proses pengikatan beton yang tidak bersamaan dan dapat mempengaruhi kekuatan lentur dari beton tersebut.

Tegangan lentur pada balok beton disebabkan oleh regangan yang terjadi karena beban luar. Menurut Asroni (2010) balok beton (tanpa tulangan) yang melengkung ke bawah akibat beban luar ditahan oleh gaya dalam yaitu tegangan tekan dan tegangan tarik. Pada tepi atas serat balok akan menahan tegangan tekan dan semakin ke bawah tegangan tekan akan mengecil. Sedangkan pada tepi bawah semakin ke atas tegangan tarik akan mengecil karena serat tepi bawah menahan tegangan tarik. Jika beban yang diberikan cukup besar, serat beton pada tepi bawah akan mengalami tegangan tarik yang cukup besar sehingga retakan beton dapat terjadi pada bagian bawah.

Penambahan serat pada beton dapat meningkatkan nilai kuat tarik lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan atau kuat tarik belah beton.

Beton berserat menyerap energi yang lebih tinggi dibandingkan beton normal sebelum hancur (*failure*). Peningkatan daktilitas karena jumlah serat yang bertambah pada beton normal terjadi akibat beberapa faktor seperti volume fraksi serat, bentuk serat, dan komposisi bahan penyusun matrik sendiri (Santoso dan Widodo, 2010).

Dalam penelitian Santoso dan Widodo (2010), serat *polypropylene* ditambahkan pada lapisan beton baru (*overlay*) sebagai perbaikan dari beton lama (*substrate*) terhadap kuat lentur dan kuat geser. Benda uji kuat geser berupa kubus 15 x 15 x 15 cm dan benda uji kuat lentur balok 50 x 10 x 10 cm dengan ketebalan lapis *substrate* 7,5 cm serta lapis *oveley* 2,5 cm untuk masing-masing benda uji. Berdasarkan hasil penelitian penggunaan serat *polypropylene* dapat meningkatkan kuat lekat paling optimum pada penambahan 2 kg/m<sup>3</sup> serat *polypropylene*, sedangkan kuat lentur paling optimum terjadi saat penambahan serat *polypropylene* 1 kg/m<sup>3</sup>, yaitu dapat meningkatkan kuat lentur sebesar 20,09% dari kuat lentur tanpa penambahan serat *polypropylene*, yaitu 4,156 MPa menjadi 4,988 MPa.

Menurut Purwanto (1999), dalam ACI Committee 544 (1982), ada berbagai jenis bahan serat 3 yang digunakan dalam campuran beton yaitu baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), kaca (*glass*), dan karbon (*carbon*). Serat baja lebih banyak dipakai di luar negeri karena memiliki sifat-sifat penguat beton, seperti kuat tarik yang tinggi, elastis, dan lekatan yang cukup. Thomas dan Ramaswamy (2007), mengatakan bahwa serat baja memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki modulus elastisitas yang tinggi dan tidak mengalami perubahan bentuk terhadap pengaruh alkali dalam semen. Dengan menambahkan serat baja dalam beton polos maka akan terjadi peningkatan kapasitas kekuatan beton cukup signifikan. Beberapa peneliti sudah melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan serat baja untuk meningkatkan kuat lentur beton, namun masih kurang informasi mengenai penelitian penambahan serat baja pada lapis *overlay* ataupun lapis *substrate* terhadap kuat lentur balok beton.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang di atas penelitian yang akan dilakukan yaitu pengaruh penambahan serat baja pada balok beton yang disambung dengan dua variasi penambahan serat baja yaitu pada lapis *overlay* dan pada lapis *substarte*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Apakah penambahan serat baja dapat memperbaiki kuat lentur balok yang disambung?
2. Bagaimana pengaruh serat baja terhadap kuat tekan beton?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat lentur balok beton yang disambung.
2. Mengetahui kuat tekan beton pada setiap lapisan beton baru (*overlay*) dan beton lama (*substrate*).

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Metode yang digunakan untuk perhitungan *mix design* berdasarkan SNI 7656:2012.
2. Kuat tekan rencana beton yaitu 25 MPa.
3. Variasi penambahan serat baja yaitu 0%, 1%, 1,5%, dan 2% terhadap volume adukan beton.
4. Pengecoran lapisan beton baru (*overlay*) dilakukan pada saat umur beton lama (*substrate*) 21 hari.
5. Tebal lapis beton lama (*substrate*) 7,5 cm dan lapis beton baru (*overlay*) 7,5 cm.

6. Benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk kuat tekan dan balok ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm untuk kuat lentur.
7. Jenis *superplasticizer* yang digunakan yaitu *superplasticizer high range water reducer* M 261 tipe F dengan penggunaan 1% dari berat semen.
8. Serat baja yang digunakan yaitu Dramix® 3D produksi PT. Bekaert dengan tipe ujung berkait (*hooked*) memiliki diameter 0,75 mm dan panjang 60 mm.
9. Dalam pengujian beton dilakukan berdasarkan standar SNI sedangkan pengujian material berdasarkan standar ASTM.
10. Permukaan beton lama tidak diberikan perlakuan khusus.
11. Kondisi kelembaban pada beton lama saat pengecoran beton baru yaitu kondisi SSD.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini yaitu :

1. Menambah informasi mengenai kuat lentur balok beton yang terdapat sambungan beton lama (*substrate*) dengan beton baru (*overlay*).
2. Menambah informasi tentang pengaruh serat baja sebagai campuran beton pada lapis beton baru (*overlay*) terhadap kuat lentur balok beton yang disambung.
3. Menambah informasi tentang pengaruh serat baja sebagai campuran beton pada lapis beton lama (*substrate*) terhadap kuat lentur balok beton yang disambung
4. Dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian lanjutan mengenai kuat lentur balok beton yang disambung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Beton

Menurut SNI 2847:2019 beton (*concrete*) adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Seiring dengan umur beton yang bertambah, beton akan mengeras dan pada usia 28 hari akan mencapai kekuatan rencana ( $f'c$ ). Beton banyak dipakai untuk penentuan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan karena beton memiliki kuat tekan yang baik.

Menurut Tjokrodimuljo (2007) beton memiliki beberapa kelebihan, yaitu sebagai berikut:

1. Harga yang relatif ekonomis karena menggunakan bahan-bahan dasar yang mudah diperoleh.
2. Beton memiliki ketahanan yang baik, yaitu tahan aus dan panas serta tahan terhadap karat atau pembusukan akibat kondisi lingkungan sehingga biaya perawatan menjadi lebih rendah.
3. Beton memiliki kuat tekan yang cukup tinggi, sehingga apabila dikombinasikan dengan baja tulangan yang kuat tariknya tinggi dapat membentuk suatu struktur yang tahan terhadap tarik dan tekan.
4. Beton segar mudah dicetak menjadi bentuk dan ukuran sesuai keinginan dengan cetakan beton yang dapat digunakan kembali sehingga menjadi lebih ekonomis.

## 2.2. Bahan Penyusun Beton

### 2.2.1. Agregat

Agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis (SNI 2847:2019). Agregat berfungsi sebagai material pengisi yang menempati sekitar 75% dari total volume beton sehingga berdampak signifikan terhadap sifat dan durabilitas beton.

#### a. Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil hasil penguraian alami batuan atau batu pecah dari industri pemecah batu dengan ukuran butir antara 5-40 mm. Distribusi ukuran dan jumlah agregat dapat mempengaruhi *workability* atau kelecakan beton. Semakin berbentuk bulat agregat cenderung menyebabkan *blocking* dan semakin besar aliran karena mengurangi gesekan internal. Gradasi standar agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Gradasi standar agregat kasar

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	

Sumber: ASTM C-33-97

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya lolos ayakan 4,8 mm. Menurut Asroni (2010) agregat halus yang digunakan sebagai campuran beton harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Pasir terdiri dari butiran yang tajam dan keras.
2. Pasir tidak mudah pecah atau terkikis oleh pengaruh kondisi cuaca seperti terik matahari dan hujan.
3. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%. Apabila kadar lumpur pasir lebih dari 5% maka pasir harus dicuci terlebih dahulu.
4. Tidak menggunakan pasir laut (kecuali dengan petunjuk staf ahli) karena pasir laut banyak mengandung garam yang bisa merusak beton atau baja tulangan.

Gradasi standar agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Gradasi standar agregat halus

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

Sumber: ASTM C-33-84

2.2.2. Semen *Portland*

Semen *portland* merupakan semen yang diperoleh dengan mencampurkan bahan berkapur dan lempung, dibakar pada suhu yang membentuk klinker dan menggunakan gipsum sebagai bahan tambahan untuk menghaluskan klinker (SNI 15-2049-2004). Komposisi kimia pada semen *portland* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi bahan utama semen

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

(Sumber: Kardiyono Tjokrodimulyo, 1996)

### 2.2.3. Air

Air merupakan salah satu bahan penyusun beton yang sangat penting dalam pembuatan beton. Fungsi air dalam campuran beton bereaksi secara kimia untuk memicu proses pengikatan dan pengerasan pada beton, serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar agregat mudah dikerjakan. Untuk dapat bereaksi dengan semen, air yang dibutuhkan hanya 25%-30% dari berat semen. Selain itu, air juga dipakai untuk perawatan beton dengan cara pembasahan setelah beton di cor (Tjokrodimuljo, 2007). Air yang digunakan harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan tidak mengandung garam-garam dan zat-zat lain yang dapat merusak beton (Nugraheni, 2017).

### 2.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan yang dicampurkan dalam beton atau mortar selain air, agregat dan semen hidrolik yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung (Tjokrodimuljo, 1996). Secara umum bahan tambah yang digunakan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bahan tambah kimia (*chemical admixture*) dan bahan tambahan mineral (*additive*). Bahan tambah admixture ditambahkan saat pencampuran dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*), sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan. Beberapa contoh bahan tambah additive yaitu *pozzolan*, *fly ash*, *slag* dan *silica fume*.

Adapun tipe dan jenis *chemical admixture* menurut ASTM C 494 sebagai berikut:

1. Tipe A (*Water Reducing Admixture*)  
Bahan tambah tipe A untuk mengurangi jumlah penggunaan air pada campuran beton untuk mendapatkan beton dengan konsistensi tertentu.
2. Tipe B (*Retarding Admixture*)  
Bahan tambah tipe B dapat menghambat waktu pengikatan beton.
3. Tipe C (*Accelerating Admixture*)  
Bahan tambah tipe C ini dapat mempercepat waktu pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
4. Tipe D (*Water Reducing And Retarding Admixture*).  
Bahan tambah tipe D dapat berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi jumlah penggunaan air pada campuran beton untuk mendapatkan beton dengan konsistensi yang diinginkan dan menghambat waktu pengikatan beton.
5. Tipe E (*Water Reducing And Accelerating Admixture*).  
Bahan tambah tipe E dapat berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang digunakan dalam campuran beton untuk mendapatkan beton dengan konsistensi diinginkan dan mempercepat waktu pengikatan awal beton.
6. Tipe F (*Water Reducing And High Range Admixture*)  
Bahan tambah tipe F berfungsi meminimalisir air yang digunakan pada campuran beton untuk mendapatkan beton dengan konsistensi yang diinginkan sebanyak 12% atau lebih.
7. Tipe G (*Water Reducing, High Range and Retarding Admixture*)  
Bahan tambah tipe G berfungsi meminimalisir air yang digunakan pada campuran beton untuk menghasilkan beton dengan konsistensi yang diinginkan sebanyak 12% atau lebih dan juga dapat menghambat waktu pengikatan beton.

#### 2.2.5. Serat

Menurut ACI Committee 544 (1982) beberapa jenis serat yang biasanya digunakan dalam campuran beton untuk memperbaiki sifat beton yang lemah terhadap tarik diantaranya serat baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), kaca (*glass*), karbon (*carbon*). Serat tersebut dicampur ke dalam adukan beton dengan persentase penambahan serat bervariasi sesuai dengan jenis serat yang digunakan. Soroushian dan Bayashi (1987) mengatakan bahwa penambahan serat ke dalam adukan beton diharapkan akan dapat mencegah terjadinya retak-retak yang terlalu dini, baik akibat dari panas hidrasi maupun akibat pembebanan.

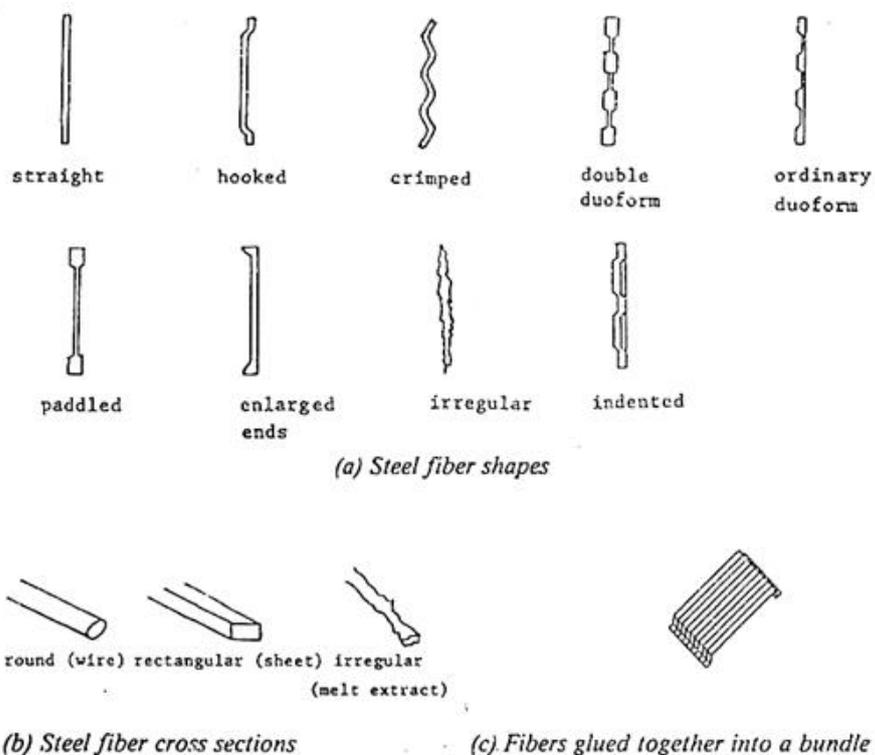
Serat kaca memiliki berat jenis dan modulus elastisitas yang rendah, serta serat kaca kurang tahan terhadap pengaruh alkali. Menurut Mulyono (2003), serat *polypropylene* adalah salah satu jenis serat yang tidak mengubah sifat fisik beton secara signifikan tetapi dapat mengubah sifat mekanik beton karena serat ini memiliki berat jenis yang rendah dan tidak menyerap air.

Serat karbon sering digunakan pada beton karena memiliki ketahanan yang tinggi terhadap retak. Serat karbon terdiri dari serat yang sangat kecil memiliki diameter serat  $\pm 7 \mu\text{m}$  yang sebagian besar merupakan atom karbon. Serat ini memiliki karakteristik diantaranya memiliki tegangan tarik  $360 \pm 50 \text{ kg/mm}^2$  dan modulus elastisitas  $23.500 \pm 1.000 \text{ kg/mm}^2$  (Sutrisno, 2015).

Serat baja adalah jenis serat perkuatan beton yang terbuat dari material baja mutu tinggi. Sebelumnya serat baja digunakan pada campuran beton untuk mengurangi sifat susut beton, namun seiring perkembangan penggunaan serat baja ternyata signifikan meningkatkan kekuatan lentur, hal ini karena serat baja yang bekerja secara komposit dengan beton (Sulthan, 2019). Menurut Altun dkk. (2006) keunggulan pemakaian serat baja dalam beton yaitu:

1. Meningkatkan kapasitas lentur.
2. Meningkatkan kapasitas penyerapan energi.
3. Meningkatkan perilaku *ductile* sebelum keruntuhan *ultimate*.
4. Mencegah terjadinya pelebaran retak.
5. Meningkatkan daya tahan (*durability*).

Jenis-jenis serat baja yang biasa digunakan sesuai dengan kegunaannya menurut Soroushian dan Bayasi (1991) ada beberapa diantaranya yaitu::



Gambar 1. Jenis-jenis serat baja (Soroushian & Bayasi, 1991).

- a. Bentuk serat baja terdiri dari (*Steel fiber shapes*) lurus (*straight*), berkait (*hooked*), bergelombang (*crimped*), *double duo form*, *ordinary duo form*, bundel (*paddled*), kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*), tidak teratur (*irregular*), bergerigi (*indented*).

- b. Penampang serat baja dapat berupa (*steel fiber cross section*) lingkaran (*round/wire*), persegi /lembaran (*rectangular / sheet*), tidak teratur / bentuk dilelehkan (*irregular / melt extract*)
- c. Serat dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fibers glued together into a bundle*).

### 2.3. Beton Serat

Menurut ACI (*American Concrete Institute*) *Committee 544* beton berserat adalah beton yang terdiri dari semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar dan beberapa serat yang tersebar secara acak serat masih bisa ditambahkan bahan-bahan aditif.

Penambahan serat dalam beton bertujuan untuk meningkatkan kuat tarik beton karena salah satu sifat beton memiliki kuat tarik sangat rendah. Kuat tarik yang sangat rendah berakibat beton terlalu mudah retak sehingga mengurangi keawetan beton. Beton menjadi lebih tahan retak dengan adanya penambahan serat (Tjokrodimulyo, 1996). Namun, terdapat beberapa ketentuan yang harus diperhatikan pada beton serat yaitu : *fiber dispersion* terkait dengan teknik pencampuran serat dalam campuran beton sehingga tersebar merata dengan orientasi yang acak, *workability* (kelecekan adukan) terkait dengan kemudahan dalam proses pengerjaan/proses pemadatan, dan *mix design/proportion* untuk mendapatkan mutu beton tertentu dengan kelecekan yang memadai (Suhendro, 2000).

### 2.4. Prediksi Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

#### 2.4.1 Kuat tekan beton serat

Menurut Purwanto (1999), dalam Wafa dan Hasnat (1992), menyarankan persamaan untuk memprediksi kuat tekan beton serat dapat menggunakan persamaan berikut:

$$f_{cf} = f'_c + 2,23 V_f \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- $f_{cf}$  = Kuat tekan beton serat (MPa)  
 $f_c$  = Kuat tekan beton tanpa serat (MPa)  
 $P$  = Beban tekan maksimum (N)  
 $A$  = Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

#### 2.4.2 Kuat lentur beton serat

Persamaan yang diusulkan Swamy et al (1974) dikembangkan berdasarkan analisis regresi data percobaan untuk kuat lentur beton serat (Purwanto, 2011).

Untuk kuat retak pertama:

$$\sigma_{cf} = 0,843\sigma_m (1-V_f) + 2,93 V_f \frac{l_f}{d_f} \dots\dots\dots(2)$$

Untuk kuat tarik/lentur ultimit:

$$\sigma_{uf} = 0,97\sigma_m (1-V_f) + 3,42 \cdot V_f \frac{l_f}{d_f} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- $\sigma_{cf}$  = Kuat retak pertama beton serat (MPa)  
 $\sigma_{uf}$  = Kuat tarik/lentur ultimit beton serat (MPa)  
 $\sigma_m$  = Kuat tarik beton (MPa)  
 $V_f$  = Volume fraksi (%)  
 $L_f/d_f$  = Aspek rasio serat

#### 2.4.3 Kuat tarik beton serat

Persamaan yang diusulkan Narayanan & Darwish (1987) berdasarkan analisis regresi data percobaan yang digunakan untuk memprediksi kuat tarik belah silinder beton serat (Purwanto, 2011).

$$f_{cpf} = \frac{f_{cuf}}{A} + B + C \sqrt{F} \dots\dots\dots(4)$$

$$F = \frac{l_f}{d_f} \cdot V_f \cdot \beta \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- $f_{cpf}$  = Kuat tarik belah silinder beton serat ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$f_{\text{cuf}}$	= Kuat tekan kubus beton ( $\text{N/mm}^2$ )
A	= tetapan non dimensi yang bernilai $(20 - \sqrt{F})$
B	= Tetapan yang bernilai $0,7$ ( $\text{N/mm}^2$ )
C	= Tetapan yang bernilai $1$ ( $\text{N/mm}^2$ )
F	= Faktor serat
$V_f$	= Volume fraksi (%)
$l_f/d_f$	= Aspek rasio serat
$\beta$	= Faktor lekatan serat ( $0,5$ untuk serat berpenampang bundar, $0,75$ untuk serat <i>crimped/hooked</i> dan $1$ untuk serat <i>indented</i> )

#### 2.4.4 Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kuat Lentur Beton

Kuat lentur batas (*ultimate flexure strength*) beton atau disebut modulus keruntuhan (*modulus of rupture*) yaitu beban maksimum yang tercapai selama terjadi pembebanan. Berdasarkan SNI 2847:2019 nilai modulus keruntuhan lentur beton yaitu:

$$f_r = 0,62 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan:

$f_r$  = Kuat lentur batas (MPa)

$F_c$  = Kuat tekan (MPa)

$\lambda$  = 1 (Untuk beton normal)

Dari persamaan di atas diperoleh nilai  $f_r/\sqrt{f_c'}$  yang dapat menunjukkan hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton.

## 2.5. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian Santoso dan Widodo (2010) menambahkan serat *polypropylene* pada lapisan beton baru (*overlay*) sebagai perbaikan dari beton lama (*substrate*) terhadap kuat lentur dan kuat lekat. Benda uji kuat geser berupa kubus  $15 \times 15 \times 15$  cm dan benda uji kuat lentur balok  $50 \times 10 \times 10$  cm dengan ketebalan lapis *substrate*  $7,5$  cm serta lapis *overlay*  $2,5$  cm untuk masing-masing benda uji. Pada penelitian ini lapisan *substrate* berupa beton

normal dan lapis *overlay* berupa beton SCC dengan variasi penambahan serat *polypropylene*, yaitu  $0 \text{ kg/m}^3$ ,  $1 \text{ kg/m}^3$ ,  $2 \text{ kg/m}^3$ ,  $3 \text{ kg/m}^3$ . Pelaksanaannya setelah beton *substrate* berumur 28 hari, dilapisi beton *overlay* setelah beton berumur 56 hari dilakukan pengujian kuat lekat dan kuat lenturnya. Berdasarkan hasil pengujian penggunaan serat *polypropylene* dapat meningkatkan kuat lekat paling optimum pada penambahan  $2 \text{ kg/m}^3$  serat *polypropylene* sedangkan kuat lentur paling optimum terjadi saat penambahan serat *polypropylene*  $1 \text{ kg/m}^3$  yaitu dapat meningkatkan kuat lentur sebesar 20,09%.

Setiawan dkk. (2021) melakukan penelitian pengaruh sudut kemiringan penyambungan balok beton dengan *bondcrete* terhadap kuat lentur beton. Benda uji yang digunakan berupa balok dengan ukuran  $600 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ . Pengecoran beton baru dilakukan pada beton lama yang berumur 14 hari dan 28 hari dengan variasi kemiringan  $45^\circ$  dan  $60^\circ$ . Dari hasil penelitian dapat dikatakan semakin besar umur beton lama saat penyambungan maka akan diperoleh nilai kuat lentur beton yang semakin kecil. Pada sudut kemiringan penyambungan  $45^\circ$  menghasilkan kuat lentur yang diperoleh lebih besar daripada sudut kemiringan penyambungan  $60^\circ$ . Penggunaan *bondcrete* sebagai perekat antara beton lama dan beton baru dapat meningkatkan kuat lentur beton sebesar 15,572%.

Yahya (2018) melakukan penelitian perbandingan kuat lentur beton pada sambungan beton dengan menggunakan lem beton *styrobond* dan sambungan tanpa lem. Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dimensi  $15 \times 30 \text{ cm}$  dan pengujian kuat lentur menggunakan balok dimensi  $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}$ . Berdasarkan hasil penelitian pada balok sambungan lurus dengan tambahan lem beton memiliki nilai kuat lentur optimal yaitu sebesar 5,933 MPa sedangkan pada balok sambungan miring dengan tambahan lem memiliki nilai kuat lentur 3,944 MPa.

Sandagie dkk. (2012) melakukan penelitian geser *interface* antara beton lama dan baru dengan variasi umur sambungan 7, 14, dan 28 hari serta kekasaran permukaan beton lama dengan tingkat rendah dan tinggi. Pada kekasaran tingkat rendah dilakukan dengan membuat tekstur permukaan beton lama dengan kedalaman  $\pm 3$  mm sedangkan tingkat tinggi tekstur permukaan beton lama kedalaman  $\pm 7$  mm dan diberi kawat ayam. Benda uji yang digunakan kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm yang dibagi menjadi dua yaitu beton lama berukuran 10 x 15 x 15 cm dan beton baru berukuran 5 x 15 x 15 cm. Berdasarkan hasil penelitian tegangan geser umur penyambungan 28 hari pada pengasaran tingkat tinggi lebih besar dari pengasaran tingkat rendah. Semakin lama umur penyambungan diperoleh kenaikan nilai tegangan geser yang semakin besar.

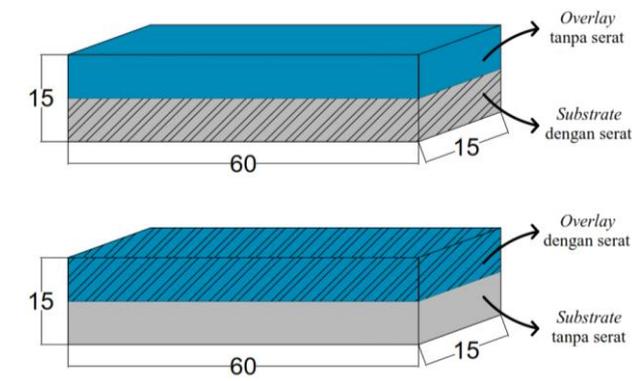
Hussein dkk. (2020) melakukan penelitian tentang kinerja kuat geser *interface* beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*) dengan variasi sudut kemiringan dan *volume fraksi* serat baja. Benda uji yang digunakan berupa prisma berukuran  $0,15 \times 0,15 \times 0,30$  m<sup>3</sup> untuk pengujian kuat geser lekatan, balok ukuran  $0,4 \times 0,1 \times 0,1$  m<sup>3</sup> untuk pengujian kuat lentur dan kubus ukuran  $0,15 \times 0,15 \times 0,15$  m<sup>3</sup> untuk pengujian kuat tekan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai kuat geser lekatan antara beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*) pada variasi serat baja 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% diperoleh nilai rata-ratanya, yaitu 11,14 MPa, 8,217 MPa, 8,580 MPa, dan 9,820 MPa. Pada pengujian kuat tarik lentur beton benda uji balok pada variasi serat baja 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% diperoleh nilai rata-ratanya sebesar 3,855 MPa, 8,139 MPa, 11,330 MPa dan 14,327 MPa. Dilihat dari nilai kuat geser lekatan dan kuat tarik lentur yang diperoleh semakin besar volume serat yang digunakan maka semakin besar kuat lekatan dan kuat tarik lentur yang didapatkan.

Siswanto (2011) melakukan penelitian mengenai kapasitas tarik dan lentur beton dengan menambahkan serat baja variasi 0%, 2%, dan 4% terhadap berat beton. Dimensi serat baja yang digunakan yaitu diameter 0,9 mm-1 mm, panjang 40-70 mm, bentuk geometri penampang lingkaran, tidak lurus

serta serat baja memiliki aspek rasio ( $l/d$ ) antara 50-80. Pada pengujian kuat lentur beton umur 28 hari diperoleh nilai kuat lentur dengan variasi 0%, 2%, 4%, yaitu 3,361 MPa, 4,143 MPa, dan 3,804 MPa. Kuat tarik lentur maksimum diperoleh pada penambahan serat baja 2%.

### III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode eksperimental. Pada pengujian kuat tarik lentur benda uji yang digunakan yaitu balok dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm dengan ketebalan lapis *substrate* 7,5 cm dan lapis *overlay* 7,5 cm. Terdapat dua variasi penambahan serat baja yaitu variasi pertama penambahan serat baja hanya pada lapisan *substrate* dan variasi kedua penambahan serat baja hanya pada lapis *overlay* seperti pada Gambar 2. Untuk masing-masing balok variasi penambahan serat baja sebesar 0%, 1%, 1,5%, dan 2% dari volume fraksi dengan mutu beton 25 MPa.



Gambar 2. Dimensi benda uji kuat tarik lentur.

Pengecoran beton *overlay* dilakukan setelah beton *substrate* berumur 28 hari dan pengujian kuat tarik lentur dilakukan saat beton *substrate* berumur 56 hari. Selain itu dilakukan pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk melihat pengaruh serat baja terhadap kuat tekan beton.

### 3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh serat baja terhadap kuat tarik lentur balok beton yang disambung dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.

### 3.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Satu set saringan  
Alat ini digunakan untuk mendapatkan data gradasi agregat sehingga dapat diperoleh nilai modulus kehalusan agregat kasar dan agregat halus. Pada penelitian ini ukuran saringan yang digunakan, 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.
2. Timbangan  
Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital elektrik yang memiliki kapasitas maksimum 10 kg dengan ketelitian pembacaan 0,1 gram yang berfungsi untuk menimbang berat setiap material penyusun beton sesuai dengan komposisi yang direncanakan.
3. Piknometer  
Piknometer digunakan sebagai alat untuk menguji berat jenis dan penyerapan pada agregat halus.
4. Oven  
Pada penelitian ini oven yang digunakan memiliki kapasitas suhu maksimum 110° C dengan daya sebesar 2800 Watt. Oven berfungsi mengeringkan material yang dibutuhkan pada kondisi kering saat pengujian material.
5. Mesin pengaduk beton (*concrete mixer*)  
*Concrete mixer* yang digunakan memiliki kapasitas 0,125 m<sup>3</sup> dengan kecepatan 20–30 putaran per menit. Alat ini berfungsi untuk mengaduk campuran beton.

6. *Slump test apparatus*

Alat ini terdiri dari kerucut abrams dengan tilam pelat baja dan tongkat baja yang berfungsi untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) adukan dengan *slump test*. Kerucut abrams memiliki ukuran 200 mm untuk diameter bawah, 100 mm diameter atas, dan 300 mm tinggi kerucut. Tongkat baja yang digunakan berukuran panjang 600 mm dan diameter 16 mm.

7. *VB time test apparatus*

Alat ini digunakan untuk menguji kelecakan adukan beton. Alat ini terdiri dari kerucut abrams yang diletakan pada suatu wadah yang berada di atas meja getar.

8. Cetakan benda uji

Pada penelitian ini cetakan yang digunakan berbentuk balok dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm untuk pengujian kuat tarik lentur dan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

9. Mesin penggertar internal (*vibrator*)

Alat ini berfungsi untuk memadatkan beton segar untuk mengurangi udara yang ada pada beton segar agar tidak menimbulkan rongga-rongga udara di dalam beton.

10. Bak perendam

Bak perendam ini berfungsi untuk proses perawatan beton dengan cara merendam beton agar kelembapan beton terjaga.

11. *Compression Testing Machine (CTM)*

Digunakan sebagai alat uji kuat tekan beton. Mesin CTM yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas beban maksimum 3000 kN dan berasal dari merek dagang CONTROLS.

12. *Hydraulic jack* dan *proving ring* dalam *loading frame*

*Hydraulic jack* berfungsi mendongkrak beban sehingga memberikan tekanan ke *proving ring*. Selanjutnya *proving ring* akan membaca beban yang diterima, kemudian beban sampai ke benda uji balok hingga balok mengalami patah. Alat ini memiliki kapasitas maksimal 80 Ton.

### 13. Alat bantu

Alat bantu yang digunakan yaitu ember, kontainer, mistar, kuas cat, sendok semen, *trolley* dorong, kunci pas, sekop, dan alat tulis. Alat bantu berfungsi mempermudah dan memperlancar pelaksanaan penelitian.

## 3.3. Bahan Penelitian

### 1. Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini, yaitu semen PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merk dagang Semen Padang.

### 2. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir Gunung Sugih, Lampung Tengah. Pada penelitian ini dilakukan pengujian agregat halus sesuai dengan standar ASTM diantaranya uji kadar air, kadar lumpur, kandungan zat organis, gradasi serta berat jenis dan penyerapan

### 3. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini ialah batu pecah dengan ukuran gradasi 1-2 yang berasal dari Tanjungan, Lampung Selatan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian agregat kasar sesuai dengan standar ASTM diantaranya uji kadar air, kadar lumpur, gradasi, berat jenis dan penyerapan.

### 4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini ialah air bersih yang diperoleh dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

### 5. Serat

Serat yang digunakan pada penelitian ini ialah Serat baja Dramix® 3D produksi PT. Bekaert dengan tipe ujung berkait (*hooked*) memiliki diameter 0,75 mm dan panjang 60 mm atau dengan *aspect ratio* (l/d) 80.

### 6. *Superplasticizer*

Pada penelitian ini *superplasticizer* yang digunakan adalah jenis *superplasticizer high range water reducer* M 261 tipe F.

### 3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

#### 1. Persiapan alat dan bahan

Pada tahap ini alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan lancar.

#### 2. Pengujian material

Pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik material apakah sudah memenuhi standar ASTM yang akan digunakan pada perhitungan *mix design* campuran beton. Hasil pengujian dan perhitungan sifat-sifat fisik material yang lebih detail dapat dilihat pada Lampiran A.

Tabel 4. Hasil pengujian material

Jenis Pengujian	Material	Hasil Pengujian	Standar ASTM
Kadar Air	Agregat Halus	0,50%	0-1%
	Agregat Kasar	2,09%	0-3%
Berat Jenis	Agregat Halus	2,60	2,5-2,9
	Agregat Kasar	2,62	2,5-2,9
Penyerapan	Agregat Halus	2,25%	1-3%
	Agregat Kasar	2,00%	1-3%
Gradasi	Agregat Halus	2,95	2,3-3,1
	Agregat Kasar	7,37	6-8
Berat Volume	Agregat Halus	1596 kg/m <sup>3</sup>	-
	Agregat Kasar	1519,4 kg/m <sup>3</sup>	-
Kadar Lumpur	Agregat Halus	2%	<5%
Zat Organik	Agregat Halus	Sama dengan warna standar	Tidak boleh lebih gelap dari warna standar

#### 3. Perencanaan campuran beton (*mix design*)

Pada penelitian ini perancangan campuran beton mengacu SNI 7656:2012. dan kuat tekan yang direncanakan yaitu mutu beton normal 25 MPa dengan persentase serat baja 0%, 1%, 1,5% dan 2% dari volume

adukan beton. Dengan mengikuti prosedur dan metode yang digunakan akan didapatkan kebutuhan beton untuk 1 m<sup>3</sup>. Perencanaan ini sangat penting agar rencana campuran yang direncanakan akan menghasilkan kekuatan beton yang direncanakan. Komposisi material per m<sup>3</sup> dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan total material beton per m<sup>3</sup>

Volume Fraksi (%)	Material (Kg)					
	Semen	Pasir	Split	Air	Serat Baja	SP*
0	429,87	742,32	932,35	203,00	-	4,30
1	424,61	733,25	920,96	200,52	78,50	4,25
1,5	422,56	729,70	916,51	199,55	117,75	4,23
2	420,53	726,19	912,10	198,59	157,00	4,21

\**Superplasticize (SP)* 1% dari berat semen

#### 4. Pembuatan benda uji

Pada penelitian ini benda uji yang dibuat terdiri dari balok dengan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm untuk pengujian kuat tarik lentur dan silinder 15 cm x 30 cm untuk pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan pada silinder dan balok beton normal cor monolit dilakukan pada beton umur 28 hari.

Tabel 6. Data jumlah benda uji

Variasi	Volume Fraksi serat baja (%)	Kuat Tarik Lentur	Kuat Tekan	
			Beton lama	Beton Baru
Balok	0	3		3
dengan serat	1	3		3
baja pada	1,5	3	3	3
<i>overlay</i>	2	3		3
Balok	0	3	3	
dengan serat	1	3	3	
baja pada	1,5	3	3	3
<i>substrate</i>	2	3	3	
Beton cor monolit	0	3		
Jumlah		27	15	15

Pada pembuatan benda uji balok dengan sambungan dilakukan pengecoran dengan rentang waktu yang berbeda sehingga terdapat perbedaan umur beton, beton lama sebagai *substrate* dan beton baru sebagai *overlay*.



Gambar 3. Pengecoran lapis *substrate*.



Gambar 4. Pengecoran lapis *overlay*.

Dalam pelaksanaannya pengecoran pertama sebagai lapis *substrate* dan pengecoran kedua sebagai lapis *overlay* dilakukan saat umur beton *substrate* 21 hari. Pengujian kuat lentur balok beton yang disambung dilakukan pada saat beton *substrate* berumur 49 hari atau saat beton *overlay* berumur 28 hari.

5. Pengujian *workability* adukan beton

Pengujian *workability* atau kelecakan yang dilakukan yaitu dengan *slump test* dan *VB-time test*. *VB apparatus* adalah alat yang digunakan untuk menguji kelecakan adukan beton yang terdiri dari kerucut abrams yang digunakan untuk *slump test* diletakkan dalam silinder yang berada di atas meja getar. 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. Adukan beton yang berbentuk kerucut di dalam silinder diletakkan pada meja getar selanjutnya meja getar dihidupkan hingga permukaan beton dalam silinder menjadi rata. Waktu penggetaran yang diperlukan untuk meratakan permukaan beton disebut *VB-time*. Menurut ACI Committee 544 (1984) adukan beton serat memiliki kelecakan yang baik apabila memiliki nilai *VB time* antara 5-25 detik.

6. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan benda uji dilakukan untuk memastikan reaksi hidrasi berlangsung dengan baik sehingga mutu beton yang direncanakan dapat tercapai dan mencegah terjadinya susut yang berlebih pada beton akibat kehilangan kelembapan yang terlalu cepat dapat menyebabkan retak pada beton.



Gambar 5. Perawatan benda uji.

*Curing* yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan setelah benda uji dicetak selama 24 jam, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan ditutup menggunakan karung goni basah selama 26 hari. Setelah 26 hari, benda uji dikeluarkan dari karung goni basah dan didiamkan selama 24 jam untuk dilakukan pengujian beton umur 28 hari. Tahapan *curing* untuk balok beton yang disambung antara lain dengan melakukan proses *curing* beton lama selama 21 hari. Setelah tahapan *curing* beton lama selesai, dilakukan pengecoran beton baru. Selanjutnya benda uji dilakukan proses *curing* kembali selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian.

## 7. Pengujian Benda Uji

Pada penelitian dilakukan dua pengujian yaitu uji kuat tekan beton untuk benda uji silinder dan uji kuat tarik lentur beton untuk benda uji balok. Berikut pengujian tersebut dilakukan dengan cara:

### a. Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas, dimana beton dibebani dengan gaya tekan tertentu oleh mesin tekan yang menyebabkan benda uji beton hancur (SNI 03-1974-1990). Uji kuat tekan beton dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) dengan kapasitas beban maksimal 3000 kN yang berasal dari merek dagang CONTROLS. Benda uji silinder yang telah selesai proses *curing* ditimbang kemudian dicatat dan diberi tanda. Selanjutnya benda uji diletakkan di ruang penekan CTM dengan posisi tegak lurus dan memastikan jarum penunjuk tepat pada titik nol. Kemudian mengatur perintah pada monitor alat sesuai dengan uji yang akan dilakukan dan dimensi sampel yang akan diuji. Dari pengujian ini diperoleh nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh silinder beton sampai silinder beton hancur. *Setting up* uji kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 6.

Perhitungan kuat tekan beton (SNI 1974:2011) menggunakan rumus:

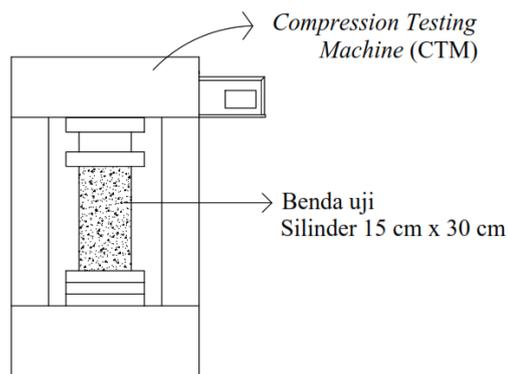
$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

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

$P$  = Beban tekan maksimum (N)

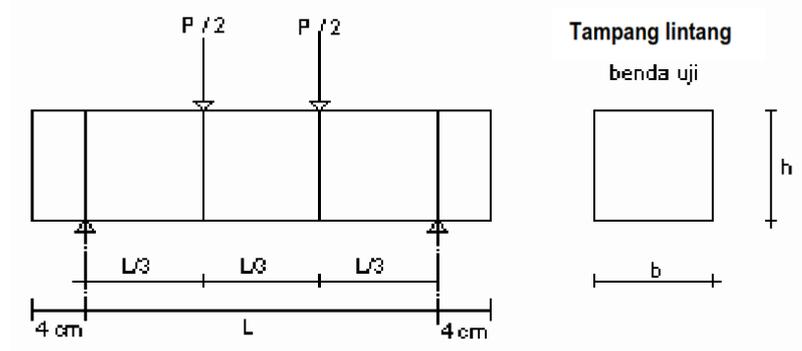
$A$  = Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )



Gambar 6. *Setting up* uji kuat tekan.

b. Uji Kuat Tarik Lentur

Menurut SNI 4431:2011 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, dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas. Uji kuat tarik lentur menggunakan *hydraulic jack* dan *proving ring* yang dipasang pada *loading frame*. Pengujian kuat lentur balok beton dilakukan dengan membebani balok di setiap  $1/3$  bentang dengan beban titik  $1/2 P$ . Kemudian, diberikan beban tekan hingga kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, yaitu terjadi retak utama di sekitar tengah bentang. Beban maksimum diperoleh dari nilai momen lentur nominal penampang balok. Kemudian mencatat dan menganalisis beban maksimum yang didapat.

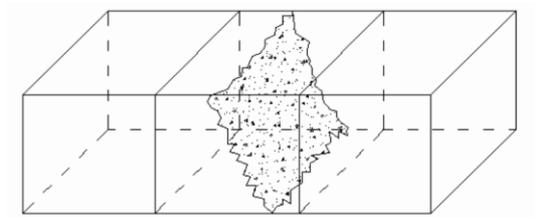


Gambar 7. Garis-garis perletakan dan pembebanan.

Berdasarkan SNI 4431:2011 kuat lentur beton dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

- a) Apabila bidang patah benda uji terletak di daerah pusat (1/3 jarak titik perletakan bagian tengah maka kuat lentur dapat dihitung dengan persamaan berikut:

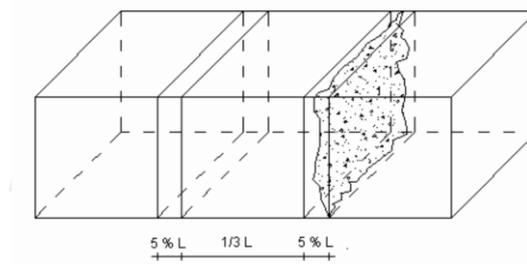
$$\sigma_I = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots(8)$$



Gambar 8. Patah pada 1/3 bentang tengah.

- b) Apabila bidang patah benda uji terletak di luar pusat (1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_I = \frac{P.a}{b.h^2} \dots\dots\dots(9)$$



Gambar 9. Patah di luar bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang.

Dimana:

$\sigma_I$  = Kuat lentur benda uji (MPa)

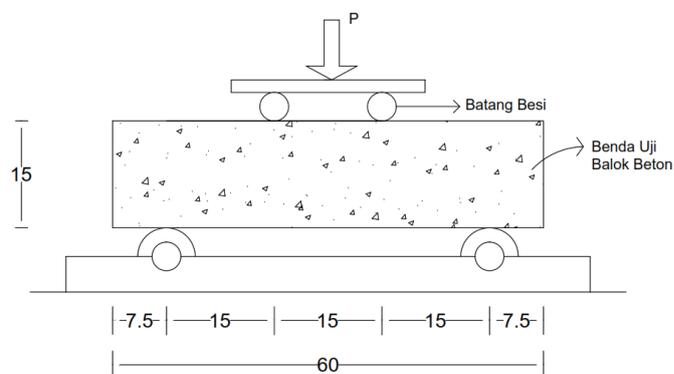
$P$  = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (Ton)

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

$a$  = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

$h$  = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

$b$  = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)



Gambar 10. *Setting up* uji kuat lentur.

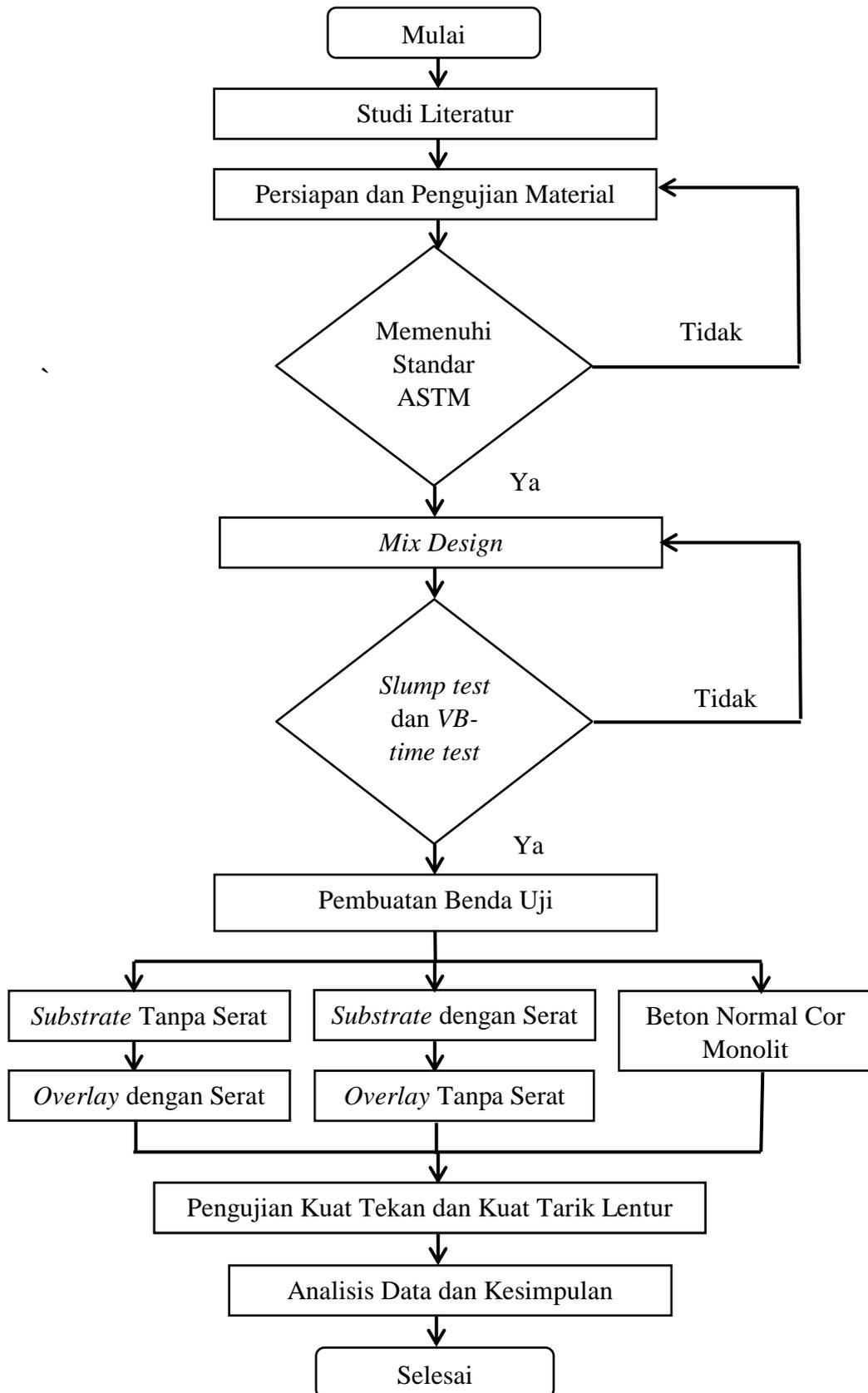
## 8. Perhitungan dan Analisis Data

- Menghitung kuat tekan beton benda uji silinder kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.
- Menghitung kuat lentur beton benda uji balok dan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

- c. Dari hasil pengujian kuat tekan, dibuat grafik hubungan antara pengaruh variasi volume fraksi serat baja terhadap hasil kuat tekan, kemudian menganalisisnya.
- d. Dari hasil pengujian kuat lentur dibuat grafik hubungan antara pengaruh variasi volume fraksi serat baja terhadap hasil kuat lentur, kemudian menganalisisnya.
- e. Dari hasil pengujian kuat lentur dibuat grafik hubungan antara pengaruh penambahan variasi volume fraksi serat baja pada lapis *substrate* dan lapis *overlay*, kemudian menganalisisnya.

### **3.5. Diagram Alir Penelitian**

Alur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serat baja 0%, 1%, 1,5% dan 2% ke dalam adukan beton membuat nilai slump semakin menurun dan nilai *VB-time* meningkat sehingga semakin tinggi volume fraksi serat baja maka kelecakan adukan beton semakin menurun.
2. Nilai kuat tekan beton pada lapis *substrate* maksimum pada volume fraksi serat baja 2% meningkat sebesar 2,33% dari beton tanpa penambahan serat baja yaitu 31,66 MPa menjadi 32,40 MPa. Pada lapis *overlay* maksimum pada volume fraksi serat baja 2% meningkat sebesar 9,93% dari beton tanpa penambahan serat baja yaitu 27,28 MPa menjadi 29,99 MPa.
3. Nilai kuat tarik lentur penambahan serat baja pada lapis *substrate* maksimum pada volume fraksi 1,5% meningkat sebesar 114,03% dari balok beton tanpa serat baja yaitu 3,59 MPa menjadi 7,48 MPa. Sedangkan nilai kuat lentur penambahan serat baja pada lapis *overlay* maksimum pada volume fraksi 2% meningkat sebesar 8,66% dari balok beton tanpa serat baja yaitu 3,59 MPa menjadi 3,90 MPa.
4. Penambahan serat baja pada lapis *substrate* diperoleh nilai kuat tarik lentur yang lebih tinggi dibandingkan penambahan serat baja pada lapis *overlay*. Namun dilihat dari perilaku balok beton pada penambahan serat baja di lapis *substrate* maupun *overlay* membuat balok menjadi lebih daktail.

## 5.2.Saran

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

1. Perlu diperhatikan saat proses pengecoran dan pemadatan beton agar serat dapat terdistribusi secara merata.
2. Penelitian dengan ketebalan lapis *substrate* dan lapis *overlay* yang berbeda.
3. Penelitian dengan menggunakan bahan tambah antara lapis *substrate* dan lapis *overlay*.
4. Penelitian dengan variasi campuran bahan tambah lain pada lapis beton baru (*overlay*)

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 544. 1982. *State of The Report on Fibre Reinforced Concrete*. American Concrete Institute. USA.
- ACI Committee 544, 1984, *Guide for Specifying, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*. Report : ACI Journal, Mar.-Apr, 1984, Vol.81. No:2
- Adiprakoso, S. F., Tjahjono, E., & Arijoeni, E. 2013. *Studi Perilaku Kuat Tekan pada Beton Berserat Baja*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Altun, F., Haktanir, T., & Ari, K. 2006. Effects of Steel Fiber Addition on Mechanical Properties of Concrete and RC Beams. *Construction and Building Materials*, 21: 654–661.
- Asroni, H. A. 2010. *Balok Dan Pelat Beton Bertulang*. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.
- ASTM C-494-82.1982. 1982. *Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*. USA.
- ASTM C-33. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. United States.
- Bagus, K., Purwanto, E., & Bayzoni, B. 2018. Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Beton Mutu Tinggi terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Kuat Lentur. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 6(2), 199-208.
- Bakhsh, K.N.2010. *Evaluation of Bond Strength between Overlay and Substrate in Concrete Repairs*. Royal Institute of Technology (KTH): Master Degree Thesis.
- Fakhrezi, F. Q. A., & Slamet Widodo, S. T. 2018. Kajian Perbedaan Mutu Beton Terhadap Kuat Lentur Beton Pada Sambungan Model Zig-Zag Dengan Variasi Umur Penyambungan. *E-Journal Pend. Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 6(2), 56-71.

- Hussein, I., & Noorhidana, V. A. 2021. Kinerja Kuat Geser Interface Beton Lama (*Substrate*) Dan Beton Baru (*Overlay*) Dengan Variasi Sudut Kemiringan Dan Volume Fraksi Serat Baja. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 8(3).
- Mc Cormac, Jack C. 2004. "Desain Beton Bertulang-Edisi Kelima-jilid 2". Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Nugraheni, M. 2017. *Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Berkait (Hooked) Dengan Perilaku Beton Pada Beban Tekan Berulang*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
- Nurzaman, I. 2008. *Studi Perilaku Balok Beton Hasil Perbaikan Dengan Teknik Injeksi Berdasarkan Uji Beban Tumbukan*. Skripsi. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Purwanto, E. 1999. *Perilaku Fiber Lokal Pada Perilaku dan Kuat Torsi Ultimit Balok Beton Bertulang*. Tesis Program Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Puwanto, E. 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.
- Purwanto, E., Oktarina, D., & Hasanah, S. 2017. Pengaruh Penambahan Serat Bambu Betung Terhadap Kapasitas Ultimit Beton Bertulang. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, 1(2).
- Putra, A. M., Noorhidana, V. A., & Isneini, M. 2021. Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang pada Beton Mutu Normal. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 8(3).
- Rulhendri, R., Chayati, N., & Syaiful, S. 2020. Kajian Tentang Penambahan Serat Terhadap Kuat Tekan Beton. *ASTONJADRO: CEAESJ*, 2(2), 44-48.
- Saifudin, A., As'ad, S., & Sunarmasto. 2015. Pengaruh Dosis, Aspek Rasio, dan Distribusi Serat Terhadap Kuat Lentur dan Kuat Tarik Belah Beton Berserat Baja. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 3(2), 369-376.
- Sandagie, E., Hendrico, F., Sabdon, P., & Purwanto, P. 2012. Kajian Geser Interface Antara Beton Lama Dan Baru Dengan Variabel Waktu Dan Variabel Penanganan Interface. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 1(1), 1-10.

- Santoso, A., & Widodo, S. 2010. Efek Penambahan Serat Polypropoylene Terhadap Daya Lekat Dan Kuat Lentur Pada Rehabilitasi Struktur Beton Dengan Self-Compacting Repair Mortar (Scrm). *Inersia*, 6(2), 121–133.
- Setiawan, A. F., Natalius, D., & Karmela, J. 2021. Studi Eksperimental Pengaruh Sudut Kemiringan Penyambungan Balok Beton dengan Bondcrete Terhadap Kuat Lentur Beton. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 64-75.
- Siswanto, A. .2011. Pengaruh Fiber Baja pada Kapasitas Tarik dan Lentur Beton. *In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 2, pp. 193-199).
- SNI 1974:2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 4431:2011. 2011. *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 7656:2012. 2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847:2019. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049. 2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional. Indonesia
- Soroushian, P., Bayasi, Z. 1987. Concept of Fiber Reinforced Concrete. *Proceeding of the International Seminar on Fiber Reinforced Concrete*. Michigan State University. Michigan, USA.
- Soroushian, P., Bayasi, Z. 1991. *Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete*. Michigan State University. Michigan, USA.
- Suhendro, B. 2000. *Beton Fiber Konsep, Aplikasi, dan Permasalahannya*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Sulthan, F. 2019. Pengaruh Tipe Bentuk Serat Baja Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Beton Berserat Baja Memadat Sendiri. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 8(1), 29-35.
- Sutrisno . 2015. *Analisa Sifat dan Ketahanan Bakar Nano Komposit Geomaterial-Serat Karbon-Phenolyc*. Program Pasca Sarjana Univeritas Brawijaya, Malang.

Thomas J, Ramaswamy A,. 2007. Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol.19, No. 5, May 2007, pp. 385-392.

Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. KMTS FT UGM. Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Nafiri. Yogyakarta.

Widodo, S. 2013. *Kapasitas geser interface antara beton ringan berserat sebagai stay-in-place formwork dengan self-compacting concrete topping untuk konstruksi pelat lantai komposit*. Universitas Negeri Yogyakarta: Doctoral Thesis

Yahya, A. T. 2018. *Perbandingan Kuat Lentur Sambungan Beton Keras dan Beton Segar Menggunakan Bahan Tambah Lem Beton Styrobond sebagai Perekat dan Sambungan Tanpa Lem Beton*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.