

**PERBANDINGAN PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT  
LURUS (*STRAIGHT*) DENGAN SERAT BENDRAT BERKAIT (*HOKED*)  
TERHADAP PRILAKU BETON DENGAN BEBAN TEKAN BERULANG**

**( Skripsi)**

**Oleh:**

**POPPY NITIRANDA FAIZAH  
1315011090**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2017**

## ABSTRAK

### PERBANDINGAN PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT LURUS (*STRAIGHT*) DENGAN SERAT BENDRAT BERKAIT (*HOKED*) TERHADAP PERILAKU BETON DENGAN BEBAN TEKAN BERULANG

Oleh

**POPPY NITIRANDA FAIZAH**

Pada penelitian ini, campuran beton diberi bahan tambah serat dari kawat bendrat berbentuk lurus (*straight*) dan berkait (*hooked*). Penambahan ini bertujuan untuk mempelajari dan mengetahui perbandingan pengaruh penambahan serat bendrat lurus dan berkait terhadap kuat tekan, tarik belah dan tarik lentur pada beton mutu normal dengan konsentrasi serat 0,75% dan aspek rasio 60 dengan beban tekan berulang. Benda uji kuat tekan dan tarik belah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji kuat lentur berupa balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm. Pengujian dilakukan setelah 28 hari. Beton yang diberi tambahan serat bendrat berkait lebih mampu menahan kelelahan akibat beban berulang yang menghasilkan lebih banyak interval pembebanan yang dialami beton hingga pecah, kuat tekan yaitu pada interval ke-13, tarik belah ke-14 dan lentur ke-6. Nilai kuat tekan, tarik belah dan lentur maksimal terjadi pada beton dengan penambahan serat bendrat berkait. Namun, nilainya tidak mengalami peningkatan yang cukup signifikan antara variasi serat bendrat lurus dengan serat bendrat berkait. Kuat tekan maksimal pada serat bendrat berkait sebesar 34,5189 MPa, kuat tarik belah maksimal pada serat bendrat berkait sebesar 3,2067 MPa dan kuat lentur maksimal pada serat bendrat berkait sebesar 8,9380 MPa.

---

Kata kunci: serat bendrat, beban tekan berulang, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur.

## **ABSTRACT**

### **INFLUENCE COMPARISON OF ADDITION STRAIGHT BENDRAT FIBER WITH HOOKED BENDRAT FIBER TO CONCRETE BEHAVIOR WITH REPEATED PRESS LOAD**

**By**

**POPPY NITIRANDA FAIZAH**

In this research, the concrete mixture is added by the material of straight and hooked wire bendrat fibers. This addition aimed to study and compare the effect of adding bendrat fiber straight and hooked to the compressive strength, tensile strength and flexural strength in normal quality concrete with 0.75% fiber concentration and aspect ratio 60 with repeated press load. The test specimen compressive and tensile strength in the form of cylinders with a diameter of 15 cm and height 30 cm and the flexural strength test specimen in the form of beam with a length of 60 cm, width 15 cm and height 15 cm. Testing is done after 28 days. Concrete with additional hooked bendrat fiber is more able to withstand fatigue due to repeated load that generates more experienced loading intervals until concrete destroyed, the compressive strength at the 13<sup>th</sup> interval, 14<sup>th</sup> tensile and 6<sup>th</sup> flexural. The compressive strength, tensile and flexural maximum split value occurred in the concrete with the addition of hooked bendrat fiber. However, the value did not increase significantly between the variations of straight bendrat fiber with hooked bendrat fiber. The maximum compressive strength in the hooked bendrat fiber of 34.5189 MPa, tensile strength of 3.2067 MPa and flexural strength of 8.9380 MPa.

---

Key words: bendrat fiber, repeated press load, compressive strength, tensile strength, flexural strength.

**PERBANDINGAN PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT  
LURUS (*STRAIGHT*) DENGAN SERAT BENDRAT BERKAIT (*HOKED*)  
TERHADAP PRILAKU BETON DENGAN BEBAN TEKAN BERULANG**

**Oleh**

**POPPY NITIRANDA FAIZAH**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi

**: PERBANDINGAN PENGARUH  
PENAMBAHAN SERAT BENDRAT LURUS  
(*STRAIGHT*) DENGAN SERAT BENDRAT  
BERKAIT (*HOOKED*) TERHADAP PRILAKU  
BETON DENGAN BEBAN TEKAN BERULANG**

Nama Mahasiswa

**: Poppy Nitiranda Faizah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315011090

Jurusan

**: Teknik Sipil**

Fakultas

**: Teknik**




**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**



**Ir. Eddy Purwanto, M.T.**  
NIP 19551212 199010 1 001



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

**2. Ketua Jurusan Teknik Sipil**



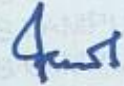
**Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19700915 199503 1 006

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji


Ketua

: **Ir. Eddy Purwanto, M.T.**



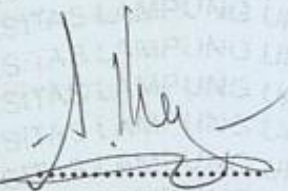
Sekretaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. C. Niken DWSBU, M.T.**



### 2. Dekan Fakultas Teknik



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Oktober 2017**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul "*Perbandingan Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Lurus (Straight) dengan Serat Bendrat Berkait (Hooked) Terhadap Prilaku Beton dengan Beban Tekan Berulang*" adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, Oktober 2017



Poppy Nitiranda Faizah

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 26 Januari 1995, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari Bapak Aan Hadiana, S.E. dan Ibu Duly Fitriana, S.H., M.H.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) ditempuh di TK Bhayangkari Gotong Royong, Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2001. Sekolah Dasar (SD) ditempuh di SD Negeri 2 Rawa Laut, Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2007. Sekolah Menengah Pertama (SMP) ditempuh di SMP Negeri 2 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2010. Dan Sekolah Menengah Atas (SMA) ditempuh di SMA Negeri 2 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2013.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2013 melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) jalur undangan. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai anggota divisi Penelitian pada Departemen Penelitian dan Pengembangan periode tahun 2015-2016. Pada tahun 2015 penulis melakukan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan *Graving Dock* dan Pengembangan Dermaga Noahtu Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sriminosari, Kecamatan



Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur selama 60 hari pada periode I, Januari – Maret 2016. Selama masa perkuliahan di semester 5 penulis diangkat menjadi Asisten Mata Kuliah Analisis Struktur 1 dan semester 6 penulis diangkat menjadi Asisten Mata Kuliah Mekanika Bahan.

# MOTTO

*“(Yaitu) orang-orang yang apabila menimpa kepada mereka suatu musibah, mereka berkata: Sesungguhnya kita ini dari Allah, dan sesungguhnya kepada-Nyalah kita semua akan kembali. Mereka itu akan dikaruniakan atas mereka anugerah-anugerah dari Tuhan mereka dan rahmat, dan mereka itulah orang-orang yang akan mendapat petunjuk”*

(Q.S. Al-Baqarah: 156-157)

*“Hanya kepada-Mu kami beribadah dan hanya kepada-Mu kami memohon pertolongan”*

(Q.S. Al-Fatihah: 4)

*“Man Jadda Wajada”*

*Barangsiapa yang bersungguh-sungguh, maka pasti akan berhasil*

(Pepatah Arab)

*“Do what you have to do until you can do what you want to do”*

(Oprah Winfrey)

*“Butterflies can't see their wings. They can't see how truly beautiful they are, but everyone else can”*

(Anonymous)

*“Kita tidak dapat mengukur sesuatu yang tidak terukur, tidak dapat melihat yang tidak terlihat, dan tidak dapat menghindari kegagalan karena manusia ada batas untuk tidak dapat membahagiakan dan memenuhi apa yang diinginkan orang lain”*

(Poppy Nitiranda Faizah)

# PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan karya tulis ini sebagai buah karya ilmiahku dalam mencapai gelar Sarjana Teknik Universitas Lampung untuk:*

*Orangtuaku yang telah banyak berkorban demi masa depanku dan selalu mendoakan kesuksesanku dalam setiap doa mereka, serta memberikan motivasi yang tiada hentinya.*

*Kakak dan adikku, serta seluruh keluarga besarku yang selalu ada dan membantuku di saat-saat tersulit dalam hidupku, yang selalu memberikan doa dan dukungan mereka untuk kesuksesanku.*

*Teman spesialku yang tiada hentinya selalu memberikan doa dan dukungan disaat suka maupun duka.*

*Sahabat-sahabatku, teman-teman Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2013 yang telah memberikan bantuan dan motivasinya selama masa perkuliahanku.*

*Almamater kebanggaanku Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan mendewasakanku dalam berfikir dan bertindak secara ilmiah.*

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul ***“Perbandingan Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Lurus (Straight) dengan Serat Bendrat Berkait (Hooked) Terhadap Prilaku Beton dengan Beban Tekan Berulang”*** yang merupakan bagian penelitian dari **Ir. Eddy Purwanto, M.T. dan Ir. Laksmi Irianti, M.T.** adalah salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Bapak Gatot Eko S, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
3. Bapak Ir. Eddy Purwanto, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, ide-ide dan saran serta kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediaan memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;

5. Ibu Dr. Ir. C. Niken DWSBU, M.T., selaku Dosen Penguji Utama yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penyempurnaan skripsi;
6. Bapak Ir. Idharmahadi Adha, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan;
7. 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;
8. Seluruh teknisi dan karyawan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan dan bimbingan selama penulis melakukan penelitian;
9. Kedua orang tuaku tercinta, papa Aan Hadiana, S.E. dan mama Duly Firiana, S.H., M.H. yang sangat sabar dalam doanya dan pengertian dalam memberikan dukungan, nasihat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
10. Kakak dan adikku terkasih Fariz Syahrezi dan Farhan Syahrezi, seluruh keluarga besar yang turut memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan perkuliahan;
11. Teman spesialku Ari Sanjaya yang selalu memberikan semangat, nasihat dan dukungannya baik moril maupun tenaganya dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman seperjuanganku Atika Ulina Zhafira dan Melly Nugraheni yang telah memberikan dukungan dan berbagi cerita suka maupun duka selama menyelesaikan lika-liku skripsi ini hingga akhirnya dapat terselesaikan;

13. Sahabat-sahabatku Rinanda Putri Widyasti, Oktary Putri Amanda, Dian Erlisa L, Adlina Mutiara Putri, Debbie Maharani, Septiani Putri, Fista Septianingtyas, dan Atri Ranindita yang telah berbagi suka maupun duka selama masa perkuliahan.
14. Saudara-saudariku Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2013 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan, terimakasih atas kebersamaan kalian. Sukses untuk kita semua;
15. Seluruh keluarga besar HIMATEKS (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil) Universitas Lampung, yang telah mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan satu per satu, semoga kita semua berhasil menggapai impian.

Akhir kata, 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. Amin.

Bandar Lampung, 13 Oktober 2017

Penulis

Poppy Nitiranda Faizah

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	x
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Batasan Masalah .....	4
D. Tujuan Penelitian .....	5
E. Manfaat Penelitian .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
A. Definisi Beton .....	7
B. Sifat-Sifat Beton .....	7
C. Beton Serat ( <i>Fiber Concrete</i> ) .....	10
D. Bahan Pembentuk Beton .....	13
E. Pembebanan Fatik (Kelelahan) .....	22
F. Landasan Teori .....	23
G. Penelitian Terdahulu .....	34
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	37
A. Umum .....	37
B. Bahan .....	38
C. Peralatan .....	41
D. Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....	44
E. Diagram Alir Penelitian .....	54
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	55
A. Hasil Pengujian Material .....	55
B. Perencanaan Campuran Beton .....	56
C. Nilai <i>Slump</i> dan <i>VB-time</i> .....	57

D. Berat Volume Beton .....	60
E. Kuat Tekan Beton .....	63
F. Kuat Tarik Beton .....	68
G. Kuat Tarik Lentur Beton .....	73
H. Perbandingan dengan Persamaan Prediksi Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Lentur Beton .....	78
I. Perbandingan dengan Persamaan Prediksi Kuat Momen Lentur Nominal Beton Bertulang .....	81
J. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu .....	82
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>92</b>
A. Kesimpulan .....	92
B. Saran .....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>95</b>
<b>LAMPIRAN A (Uji Bahan) .....</b>	<b>98</b>
<b>LAMPIRAN B (<i>Mix Design</i>) .....</b>	<b>117</b>
<b>LAMPIRAN C (Hasil Pengujian) .....</b>	<b>125</b>
<b>LAMPIRAN D (Dokumentasi Penelitian) .....</b>	<b>153</b>
<b>LAMPIRAN E (Surat Menyurat) .....</b>	<b>184</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Perbaikan kuat lentur beton serat (Soroushian & Bayasi, 1987) .....	11
2. Jenis-jenis serat baja (Soroushian & Bayasi, 1991) .....	18
3. Balok sederhana yang dibebani gaya P/2 .....	29
4. Diagram momen lentur .....	29
5. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton normal bertulang (SK SNI T-15-1991-03) .....	30
6. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi serat (Suhendro, 1991) .....	31
7. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi serat (Henager & Doherty, 1976) .....	32
8. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi serat (Swamy & Al-Ta'an, 1981) .....	33
9. Bentuk serat bendrat lurus ( <i>straight</i> ) .....	40
10. Bentuk serat bendrat berkait ( <i>hooked</i> ) .....	40
11. Diagram alir pelaksanaan penelitian .....	54
12. Grafik hubungan antara bentuk serat dan nilai <i>slump</i> .....	59
13. Grafik hubungan antara bentuk serat dan nilai <i>VB-test</i> .....	60
14. Grafik beban berulang beton tanpa serat untuk uji kuat tekan .....	64
15. Grafik beban berulang beton dengan serat bendrat lurus ( <i>straight</i> ) untuk uji kuat tekan .....	64
16. Grafik beban berulang beton dengan serat bendrat berkait ( <i>hooked</i> ) untuk uji kuat tekan .....	65

17. Grafik hubungan antara bentuk serat dengan kuat tekan beton .....	67
18. Grafik beban berulang beton tanpa serat untuk uji kuat tarik belah .....	69
19. Grafik beban berulang beton dengan serat bendrat lurus ( <i>straight</i> ) untuk uji kuat tarik belah .....	69
20. Grafik beban berulang beton dengan serat bendrat berkait ( <i>hooked</i> ) untuk uji kuat tarik belah .....	70
21. Grafik hubungan antara bentuk serat dengan kuat tarik belah beton .....	71
22. Grafik beban berulang beton tanpa serat untuk uji kuat tarik lentur .....	74
23. Grafik beban berulang beton dengan serat bendrat lurus ( <i>straight</i> ) untuk uji kuat tarik lentur .....	74
24. Grafik beban berulang beton dengan serat bendrat berkait ( <i>hooked</i> ) untuk uji kuat tarik lentur .....	75
25. Grafik hubungan antara bentuk serat dengan kuat tarik lentur beton .....	76
26. Grafik hubungan kadar serat nylon dengan pembebanan berulang .....	89
27. Grafik hubungan kadar serat bendrat lurus dan berkait dengan pembebanan berulang .....	90

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya .....	8
2. Beberapa jenis beton menurut berat jenisnya .....	9
3. Gradasi standar agregat halus .....	17
4. Gradasi standar agregat kasar .....	17
5. Sifat-sifat berbagai macam kawat .....	21
6. Jumlah dan kode benda uji umur 28 hari .....	46
7. Hasil pemeriksaan pengujian material penyusun beton .....	56
8. Komposisi kebutuhan material per m <sup>3</sup> beton dan serat bendrat .....	57
9. Nilai <i>slump</i> dan <i>VB-time</i> beton serat .....	58
10. Hasil pengukuran berat volume beton serat untuk benda uji silinder .....	61
11. Hasil pengukuran berat volume beton serat untuk benda uji balok .....	62
12. Hasil pengujian kuat tekan beton serat bendrat .....	66
13. Hasil pengujian kuat tarik belah beton serat bendrat .....	71
14. Hasil pengujian kuat tarik lentur beton serat bendrat .....	76
15. Perbandingan dengan persamaan prediksi kuat tekan, tarik belah, dan lentur beton .....	79
16. Perbandingan dengan persamaan prediksi kuat momen lentur nominal beton bertulang .....	82
17. Perbandingan karakteristik penelitian Foermansah (2013) dan Nitiranda (2017) .....	84

18. Perbandingan nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur penelitian Foermansah (2013) dan Nitiranda (2017) .....	84
19. Perbandingan karakteristik penelitian Adianto (2004) dan Nitiranda (2017) .....	87
20. Perbandingan hasil pembebanan berulang penelitian Adianto (2004) dan Nitiranda (2017) .....	88

## DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang silinder
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing and Material</i>
CTM	= <i>Compression Testing Machine</i>
D	= Diameter silinder beton
$E_c$	= Nilai modulus elastisitas ( <i>Elasticity of Concrete</i> )
L	= Panjang benda uji
MPa	= <i>Mega Pascal</i>
N	= <i>Newton</i>
P	= Beban tekan maksimum
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
b	= Lebar benda uji
cm	= Centimeter
h	= Tinggi benda uji
kg	= kilogram
kN	= Kilo <i>Newton</i>
$m^3$	= Meter kubik
mm	= Milimeter

- $\text{mm}^2$  = Milimeter persegi  
 = Konstanta ( $\pi$ )  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton (*Force of Compressed*)  
 $f'_{cf}$  = Kuat tekan beton serat  
 $V_f$  = Volume fraksi serat (*Volume Fraction*)  
 $f_{ct}$  = Kuat tarik beton  
 $f'_{spf}$  = Kuat tarik beton serat  
 $f'_{sp}$  = Kuat tarik beton tanpa serat  
 $f_{cuf}$  = Kuat tekan kubus beton serat  
 $f_r$  = Modulus keruntuhan/kuat lentur batas  
 A = Tetapan non dimensi yang bernilai (20 - F)  
 B = Tetapan yang bernilai 0,7 MPa  
 C = Tetapan yang bernilai 1,0 MPa  
 F = *Fiber factor*  
 $l_f/d_f$  = *Fiber aspect ratio*  
 $f_{cf}$  = Kuat retak pertama beton serat  
 $f_{uf}$  = Kuat tarik/lentur ultimit beton serat  
 $\sigma_m$  = Kuat tarik beton  
 $\sigma_l$  = Modulus keruntuhan/kuat lentur batas  
 $M_n$  = Kekuatan momen lentur murni  
 $T_s$  = Gaya tarik dari baja  
 d = Tinggi efektif balok  
 c = Jarak garis netral ke serat terluar bagian tekan  
 $T_{cf}$  = Gaya tarik dari beton serat

$h$  = Tinggi total balok

$C_c$  = Resultan gaya tekan dari beton serat

$C_s$  = Resultan gaya tarik dari baja daerah tekan

$A_s$  = Luas baja tulangan

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Perkembangan pembangunan suatu negara dipengaruhi oleh kemajuan dari industri konstruksinya. Indonesia merupakan salah satu negara yang mengalami perkembangan yang cukup pesat dalam hal pembangunan infrastruktur, khususnya di bidang konstruksi. Semakin meningkatnya pembangunan di suatu negara, maka penggunaan akan material konstruksi semakin meningkat terutama pada konstruksi beton. Material konstruksi beton merupakan salah satu material yang sangat sering dipakai dalam pembangunan infrastruktur baik di negara maju maupun di negara berkembang.

Beton sering digunakan dalam berbagai macam konstruksi bangunan karena dalam pembuatan beton menggunakan bahan-bahan lokal yang mudah didapat seperti kerikil, pasir, semen, dan air, sehingga harganya relatif murah. Selain itu, beton juga memiliki kelebihan-kelebihan dibandingkan material lain, yaitu kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap api dan cuaca, adukan beton mudah diangkut dan dibentuk sesuai kebutuhan, serta biaya perawatan yang cukup rendah.



Dibalik kelebihanannya, beton juga memiliki kelemahan diantaranya kuat tarik yang jauh lebih kecil dari kuat tekannya, serta memiliki sifat getas, sehingga hal ini menjadikan sangat terbatas pada pemakaiannya. Kuat tarik yang rendah ini dapat diatasi pengaruhnya dengan pemakaian baja tulangan. Namun, pada kenyataannya penambahan baja tulangan tidak memberikan hasil yang optimal. Retak-retak melintang halus masih sering timbul disekitar daerah tarik beton, sehingga dapat mempengaruhi keawetan suatu bangunan. Selain itu, bertambahnya usia dan perubahan pembebanan pada suatu bangunan juga dapat mempengaruhi keawetan dan tingkat kelayakan dari bangunan tersebut.

Perubahan beban yang dialami suatu konstruksi, misalnya pada jembatan jalan raya yaitu berupa perubahan beban akibat volume kendaraan dalam kurun waktu tertentu akan memperlemah struktur tersebut bahkan bisa berakhir dengan keruntuhan. Balok pada jembatan yang paling sering mengalami perubahan beban. Fenomena perubahan beban tersebut dinamakan beban fatik atau beban berulang. Proses kerusakan fatik dimulai dari pembebanan berulang pada material selama waktu tertentu yang akan memicu terbentuknya inisiasi retak. Tegangan tarik kemudian akan memicu inisiasi retak untuk tumbuh dan merambat sampai terjadinya kerusakan (Setiawan, 2013).

Berbagai usaha sudah banyak dilakukan untuk mengurangi kerusakan yang dialami suatu konstruksi. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan mengatasi kelemahan yang dimiliki beton. Penambahan serat ke dalam adukan beton merupakan salah satu cara untuk dapat mengatasi kelemahan beton, yaitu

dalam meningkatkan kuat tarik. Serat yang disebar secara merata dapat mencegah terjadinya retakan-retakan yang terlalu cepat, baik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan. Beton yang diberi tambahan serat ini disebut dengan beton serat. Ada berbagai jenis serat yang digunakan dalam campuran beton yaitu baja (*steel*), kaca (*glass*), karbon (*carbon*), dan plastik (*polypropylene*). Selain itu, serat dari bahan alami seperti serabut kelapa, ijuk, dan serat tumbuh-tumbuhan lainnya juga dapat dipakai. Serat baja lebih banyak digunakan karena jenis serat tersebut mempunyai sifat-sifat penguat beton antara lain kuat tarik yang tinggi, elastis dan lekatan yang cukup.

Penggunaan serat baja sangat jarang digunakan di Indonesia karena serat baja diproduksi di luar negeri, sehingga membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama untuk mendatangkannya. Suhendro (1991), telah menemukan bahan lokal yang mudah didapat di Indonesia dan harganya yang lebih murah dibandingkan serat baja yaitu kawat bendrat yang dipotong-potong sepanjang 60 mm dengan diameter 1 mm (aspek rasio  $l/d = 60$ ). Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa peningkatan kualitas beton menjadi sangat *ductile*, kuat desak, kuat tarik dan ketahanan terhadap kejut juga meningkat.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka penelitian tentang beton serat selanjutnya dilanjutkan dan dikembangkan, khususnya dalam penggunaan serat kawat bendrat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi para perencana struktur maupun para praktisi beton dalam penerapannya di lapangan agar diperoleh struktur yang kuat.

## B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan pengaruh penambahan serat berupa kawat bendrat lurus (*straight*) dengan kawat bendrat berkait (*hooked*) terhadap perilaku beton dengan beban tekan berulang, menggunakan *volume fraction* 0,75% dan aspek rasio 60 terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur pada beton mutu normal.
2. Bagaimana perbandingan pengaruh penambahan serat berupa kawat bendrat lurus (*straight*) dengan kawat bendrat berkait (*hooked*) terhadap kemudahan pengerjaan (*workability*) dari campuran beton.

## C. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup dari penelitian ini, maka diperlukan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) adalah Beton Mutu Normal.
2. Metode perencanaan (*mix design*) menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*).
3. Ukuran serat bendrat lurus maupun berkait yang digunakan yaitu diameter 1 mm ( $d$ ) dan untuk memudahkan proses pemotongan ditentukan panjang serat bendrat 60 mm ( $l$ ).
4. Aspek rasio serat bendrat ( $l/d$ ) 60.

5. *Volume fraction* ( $V_f$ ) 0,75% terhadap volume beton.
6. Adukan beton yang dihasilkan dianggap homogen dan penyebaran serat dianggap merata.
7. Pengujian beton dengan memberikan beban tekan berulang terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton.
8. Pengujian beton dilakukan pada beton berumur 28 hari.

#### **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui perbandingan pengaruh penambahan serat berupa kawat bendrat lurus (*straight*) dengan kawat bendrat berkait (*hooked*) terhadap perilaku beton dengan beban tekan berulang, menggunakan *volume fraction* 0,75% dan aspek rasio 60 terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur pada beton mutu normal.
2. Untuk mengetahui perbandingan pengaruh penambahan serat berupa kawat bendrat lurus (*straight*) dengan kawat bendrat berkait (*hooked*) terhadap kemudahan pengerjaan (*workability*) dari campuran beton.

## E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengembangkan pengetahuan mengenai sifat-sifat beton serat, terutama penambahan serat kawat bendrat pada adukan beton untuk memperbaiki sifat-sifat yang kurang baik pada beton.
2. Memberikan informasi tentang bentuk serat bendrat yang paling baik digunakan untuk campuran beton antara serat bendrat lurus (*straight*) atau bendrat berkait (*hooked*) berdasarkan pemberian beban tekan berulang, *volume fraction*, dan aspek rasio yang telah ditentukan.
3. Memberikan informasi mengenai kapasitas kekuatan beton akibat pemberian beban tekan berulang.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Definisi Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*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 (Sugiyanto dan Sebayang, 2005).

### B. Sifat-Sifat Beton

Pengetahuan tentang sifat-sifat beton perlu diketahui untuk keperluan suatu perancangan dan pelaksanaan struktur beton. Menurut Sugiyanto dan Sebayang (2005) dan Tjokrodimuljo (2007), sifat-sifat tersebut antara lain:

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

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

#### 2. Kuat Tekan

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.

Tabel 1. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya

<b>Jenis beton</b>	<b>Kuat tekan (MPa)</b>
Beton sederhana	Sampai 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

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton yaitu umur beton, faktor air semen (fas), jenis semen, jumlah pasta semen, kepadatan beton, dan sifat-sifat agregat.

### 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.

### 4. Berat Jenis

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

2.

Tabel 2. Beberapa jenis beton menurut berat jenisnya

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	<1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30 – 2,50	Struktur
Beton berat	>3,00	Perisai sinar X

Sumber: Tjokrodinuljo, 2007

#### 5. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton biasanya ditentukan pada 25–50% dari kuat tekan beton.

Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus beton sebagai berikut:

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

dengan:

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

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

#### 6. Rangkak dan Susut

Rangkak (*Creep*) merupakan salah satu sifat beton dimana beton mengalami deformasi terus menerus menurut waktu dibawah beban yang dipikul.

Sedangkan, susut (*shrinkage*) merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan.

#### 7. Keleccakan (*Workability*)

Keleccakan merupakan sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan *finishing*. Cara untuk mengukur keleccakan beton adalah dengan *slump test* dan *VB-test*.



### C. Beton Serat (*Fiber Concrete*)

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari semen portland atau bahan pengikat hidrolis lainnya yang ditambah dengan agregat halus dan kasar, air, dan diperkuat dengan serat (Hannant, 1978). Ide dasar dari campuran beton serat adalah menulangi beton dengan *fiber* yang disebar secara merata ke dalam adukan beton, dengan orientasi acak (*random*) sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik baik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan.

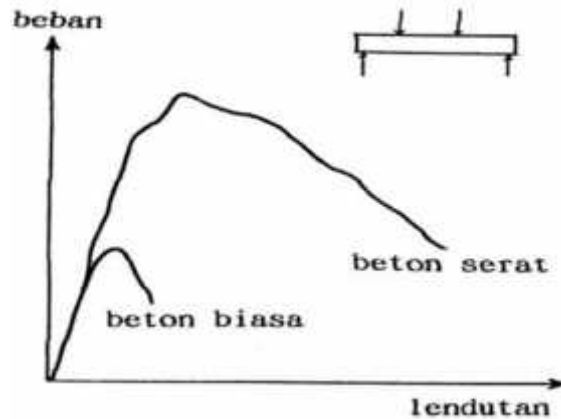
Sifat-sifat mekanika beton serat dipengaruhi oleh jenis serat, aspek rasio serat (*fiber aspect ratio*), *volume fraction* serat, kekuatan beton, geometri dan pembuatan benda uji serta agregat. Aspek rasio ( $l/d$ ) yaitu rasio antara panjang serat ( $l$ ) dan diameter serat ( $d$ ). Sedangkan *volume fraction* yaitu persentase volume serat yang ditambahkan pada setiap satuan volume adukan. Setiap jenis *fiber* mempunyai kelebihan dan kekurangan, masing-masing tergantung dari tujuan pemakaiannya. Perbaikan yang dialami beton dengan adanya penambahan *fiber* antara lain yaitu :

#### 1. Daktilitas meningkat

Penambahan serat ke dalam adukan beton dapat mengatasi masalah beton yang bersifat getas (*brittle*) menjadi lebih daktil. Energi yang diserap oleh beton serat untuk mencapai keruntuhan lebih besar dibandingkan dengan energi yang diserap oleh beton biasa, baik akibat beban tekan maupun akibat beban lentur.

2. Kekuatan lentur dan tarik meningkat

Salah satu kelemahan beton yang paling besar adalah kekuatan untuk menahan gaya tarik dan lentur. Sifat kuat tarik dan lentur yang rendah pada beton dapat diperbaiki dengan penambahan serat ke dalam adukan beton.



Gambar 1. Perbaikan kuat lentur beton serat (Soroushian & Bayasi, 1987)

3. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*) meningkat

Beton normal sangat lemah dalam menerima beban kejut. Penambahan serat ke dalam adukan beton dapat meningkatkan ketahanan kejut beton dengan baik.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life*) meningkat

Penambahan volume fraksi serat pada adukan beton dapat meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan, mengurangi lebar retak, dan lendutan yang terjadi akibat pembebanan kelelahan (*fatigue*).

5. Penyusutan berkurang

Keretakan pada beton dapat juga terjadi akibat penahanan terhadap penyusutan bebas yang disebabkan oleh kontinuitas struktur, baja tulangan dan gradien

kebasahan dalam beton. Dengan adanya serat dalam beton dapat mengurangi penyusutan dan membatasi retak-retak penyusutan.

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada beton serat yaitu :

1. Masalah *workability* yang menyangkut kemudahan dalam proses pengerjaan.

Menurut ACI Committee 544 (1988), untuk mendapatkan kelecakan yang baik dan *fiber dispersion* (serat tersebar merata dengan orientasi random dalam adukan beton) diperlukan batasan ukuran maksimum agregat, gradasi yang tepat, penambahan kadar semen, dan kemungkinan penambahan abu terbang (*fly ash*) atau bahan campur lain (*superplasticizer*). Umumnya, kelecakan akan menurun dengan makin banyaknya prosentase serat yang ditambahkan dan makin besarnya aspek rasio.

Kelecakan tidak hanya dapat diukur dengan menggunakan *slump test* saja, ini yang membedakan dengan pengukuran kelecakan pada beton konvensional. Menurut Purwanto (1999), dalam ACI Committee 544-84, prosedur pemakaian *inverted slump cone test* dan *VB-test* dapat untuk menentukan kelecakan beton serat. *VB-time* yang cukup baik untuk kelecakan beton serat menurut ACI Committee 544-84 besarnya antara 5 s/d 25 detik. *Slump test* hanya digunakan untuk mengontrol konsistensi beton serat, dan umumnya *slump* beton serat berkisar antara 25 s/d 100 mm.

2. Terjadinya *balling effect* (bola efek) yaitu serat menggumpal seperti bola dan tidak menyebar secara merata pada saat pencampuran. Pada penelitian-penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa penggunaan serat dengan *aspect*

*ratio* ( $l/d$ ) yang lebih besar dari 100 biasanya menyebabkan kelecakan yang tidak baik dan distribusi serat yang tidak merata, sehingga perlu diusahakan cara penyebaran serat baja secara merata pada adukan.

3. Diperlukan ketelitian yang baik saat *mix design* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kelecakan yang memadai.
4. Terjadi korosi pada serat jika tidak terlindung dengan baik oleh beton.

#### **D. Bahan Pembentuk Beton**

##### 1. Semen Portland

Menurut ASTM C-150 (1985), semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Ada dua macam semen, yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen non-hidrolis adalah semen (perekat) yang dapat mengeras tetapi tidak stabil dalam air. Semen hidrolis adalah semen yang akan mengeras bila bereaksi dengan air, tahan terhadap air (*water resistance*) dan stabil di dalam air setelah mengeras. Dalam proses pembuatannya, semen portland mengandung empat senyawa utama yaitu Trikalsium Silikat ( $C_3S$ ), Dikalsium Silikat ( $C_2A$ ), dan Tetrakalsium Aluminoferrit ( $C_4AF$ ).

Perbedaan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah empat senyawa utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai

dengan tujuan pemakaiannya. Semen Portland dibagi menjadi 5 jenis (SK SNI T-15-1990-03) yaitu :

- a. Tipe I adalah semen portland untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada tipe-tipe lainnya. Semen tipe ini yang paling banyak digunakan.
- b. Tipe II adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang. Semen tipe ini biasanya digunakan pada bangunan-bangunan seperti pelabuhan, bangunan lepas pantai, bangunan yang berhubungan dengan rawa, saluran air buangan/limbah dan pondasi atau *basement* dimana tanah/air tanah terkontaminasi oleh sulfat.
- c. Tipe III adalah semen portland dengan syarat kekuatan awal yang dicapai cukup tinggi. Pada semen tipe ini kekuatan tekan beton pada umur 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 7 hari. Semen tipe ini biasa digunakan pada bangunan-bangunan seperti pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan air yang tidak memerlukan ketahanan sulfat dan pembetonan di daerah yang cuacanya dingin (salju).
- d. Tipe IV adalah semen portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan panas hidrasi yang rendah. Semen tipe ini biasa digunakan untuk pembetonan pada daerah bercuaca panas.
- e. Tipe V adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi dengan syarat tahan terhadap sulfat yang tinggi, seperti di tanah atau air yang

tinggi kadar alkalinnya. Penggunaan semen tipe ini sama dengan pada semen tipe II dengan kontaminasi sulfat yang lebih pekat.

Semen bila tercampur dengan air akan menghasilkan pasta yang plastis dan lecah (*workable*). Namun setelah selang beberapa waktu, pasta tersebut akan mulai menjadi kaku dan sukar dikerjakan. Inilah yang disebut dengan pengikatan awal (*initial set*). Setelah itu, pasta akan meningkat kekakuannya sehingga didapatkan padatan yang utuh dan ini disebut pengikatan akhir (*final set*). Pada semen Portland waktu pengikatan awal berkisar 1-2 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam, sedangkan waktu pengikatan akhir tidak boleh lebih dari 8 jam (Mulyono,2003).

PCC (*Portland Composite Cement*) 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 jenis PCC dapat digunakan pada konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya (SNI 15-7064-2004). Penggunaan semen PCC sama dengan penggunaan semen Portland Tipe I dengan kuat tekan yang sama. PCC 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.

## 2. Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam penyusunan beton yang menyebabkan terjadinya reaksi kimia dengan semen, menjadi bahan pelumas antara butiran agregat agar mudah dipadatkan dan dikerjakan, serta sebagai bahan perawatan beton (*curing*). Air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan antara lain yaitu harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, garam-garam dan zat-zat lain yang dapat merusak beton.

## 3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Menurut Sugiyanto dan Sebayang (2005), agregat halus untuk beton adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm. Sedangkan agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Besar butir maksimum yang diizinkan tergantung pada maksud pemakaian.

Gradasi standar agregat halus dan agregat kasar menurut ASTM C-33 terlihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Gradasi standar agregat halus

<b>Ukuran Saringan (mm)</b>	<b>Persentase Lolos</b>
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

Tabel 4. Gradasi standar agregat kasar

<b>Ukuran Saringan (mm)</b>	<b>Persentase Lolos</b>		
	<b>37,5 – 4,75</b>	<b>19,0 – 4,75</b>	<b>12,5 – 4,75</b>
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			

Sumber: ASTM C-33

#### 4. Serat (*Fiber*)

##### a. Serat Baja

Serat ini memiliki kelebihan dalam hal kekuatan dan modulusnya yang tinggi, tetapi kelemahannya yaitu sangat korosif. Hal ini dapat dilihat bila ada sebagian dari serat yang tidak terlindung atau tertutup beton. Menurut Soroushian & Bayasi (1991), beberapa jenis baja yang biasa digunakan sesuai dengan kegunaannya masing-masing antara lain:



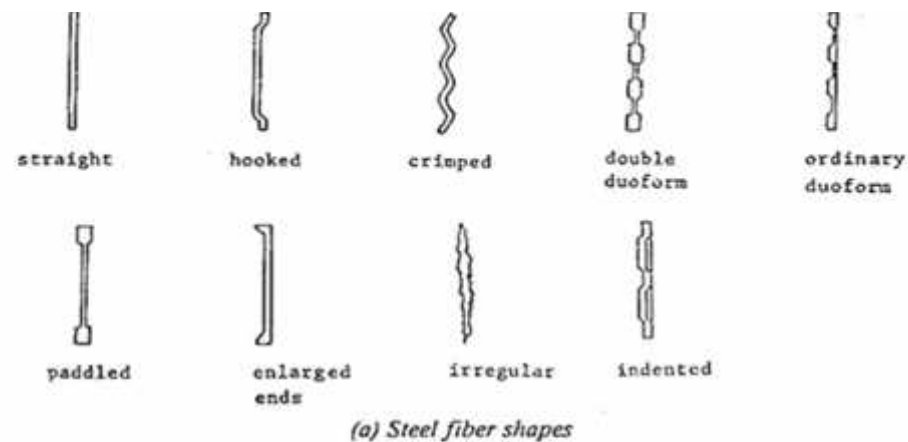
1) Bentuk serat baja (*Steel fiber shapes*)

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 (*indented*).

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*).



Gambar 2. Jenis-jenis serat baja (Soroushian & Bayasi, 1991)

Konsep penggunaan serat baja pada adukan beton belum banyak dikenal di Indonesia. Salah satu penyebabnya adalah tidak tersedianya serat baja di dalam negeri dan jika ingin mendatangkan dari luar negeri harganya akan menjadi lebih mahal, sehingga diperlukannya alternatif lain untuk menggantikan serat baja.

b. Serat Kaca

Menurut Soroushin & Bayasi (1987) serat kaca memiliki kuat tarik yang relatif tinggi, kepadatan rendah dan modulus elastisitas tinggi. Kelemahan serat kaca adalah mudah rusak akibat alkali yang terkandung dalam semen dan mempunyai harga beli yang lebih tinggi bila dibandingkan serat lainnya.

c. Serat Polimer

Serat polimer merupakan serat yang 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.

d. Serat Karbon

Serat karbon digunakan untuk memenuhi kebutuhan tarik dan kuat lentur yang tinggi, serta dipakai untuk beton yang harus mempunyai ketahanan terhadap retak yang tinggi. Serat karbon memiliki modulus elastisitas yang sama bahkan dua hingga tiga kali lebih besar dari baja. Namun penyebaran

serat karbon dalam matrik semen lebih sulit dibandingkan dengan serat lainnya dan harganya juga relatif mahal.

e. Serat Kawat

Pada penelitian Suhendro (1991) telah berusaha mencari alternatif penggunaan bahan lokal yang mudah didapat di Indonesia dan harganya relatif murah sebagai pengganti serat produksi pabrik. Bahan lokal tersebut berupa potongan-potongan kawat bendrat (yang biasa dipakai untuk mengikat tulangan baja) dengan diameter 1 mm dan panjang sekitar 60 mm. Berdasarkan penelitian tersebut didapat beton menjadi sangat liat (*ductile*), kuat tarik dan ketahanan terhadap kejut meningkat, serta terbukti dengan model skala penuh suatu balok beton kapasitas beban batas lentur beton serat jauh lebih baik dari beton biasa. Dengan demikian tingkat perbaikan beton menggunakan bahan lokal tidak kalah dibandingkan dengan serat baja asli luar negeri.

Sebenarnya semua jenis serat dapat dipakai sebagai bahan tambah untuk perbaikan sifat beton. Tetapi yang harus diperhatikan dalam penggunaan serat adalah ketahanan serat terhadap alkali. Berikut akan disajikan hasil pengujian kuat tarik serat lokal dari berbagai macam kawat dan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Sifat-sifat berbagai macam kawat

No	Jenis Kawat	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Saat Putus (%)	Specific Gravity
1	Kawat Baja	230	10,5	7,77
2	Kawat Bendrat	38,5	5,5	6,68
3	Kawat Biasa	25	30	7,70

Sumber: Suhendro, 1991.

### 5. *Superplasticizer*

Menurut ASTM C-494, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif. Dengan pemakaian bahan tambahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi.

Mulyono (2003) menjelaskan fungsi dari *superplasticizer* adalah untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Tiga jenis *superplasticizer* yang dikenal adalah (1) kondensi *sulfonat melamin formaldehid* (SMF) dengan kandungan klorida sebesar 0,005% (2) *sulfonat naphthalin formaldehid* (SNF) dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan, dan (3) modifikasi *lignosulfonat* tanpa kandungan klorida. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kekuatan tekan beton. 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.

Selain itu, penambahan *superplasticizer* dalam campuran beton, dapat mengubah sifat beton sesuai dengan perencanaan yang diinginkan dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar, namun tidak berpengaruh besar dalam meningkatkan kuat tekan beton untuk faktor air semen yang diberikan. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya pemisahan (*segregasi/bleeding*).

Menurut Neville (1995), untuk meningkatkan *workability* campuran beton, penggunaan dosis *superplasticizer* secara normal berkisar antara 1-3 liter tiap 1 meter kubik beton. Larutan *superplasticizer* terdiri dari 40% material aktif. Ketika *superplasticizer* digunakan untuk mengurangi jumlah air, dosis yang digunakan akan lebih besar, 5 sampai 20 liter tiap 1 meter kubik beton.

#### **E. Pembebanan Fatik (Kelelahan)**

Fatik atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada suatu struktur akibat adanya beban dinamik yang terjadi dalam waktu lama dan berulang-ulang. Fatik menjadi penyebab utama kegagalan pemakaian di banyak konstruksi. Ada 3 fase didalam kerusakan akibat fatik, yaitu pengintian retak (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*) dan patah statik (*fracture*). Proses dari

permulaan retak umumnya dimulai dari lokasi yang paling lemah, selanjutnya terjadi pembebanan berulang yang menyebabkan perambatan retak hingga mencapai ukuran retak kritis dan akhirnya gagal. Pada akhirnya, material akan mengalami perpatahan yang kemudian dapat menghasilkan kerusakan yang permanen pada suatu konstruksi.

Menurut Setiawan (2013) beban berulang biasanya terjadi pada jembatan jalan raya (*highway bridge*), rel baja, struktur lepas pantai dan lain-lain. Beberapa jenis struktur ini mengalami jutaan (atau bahkan milyaran) siklus pembebanan selama masa gunanya.

## F. Landasan Teori

### 1. Kuat tekan beton

Berdasarkan standar ASTM C-39, uji tekan beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan silinder beton menggunakan mesin tekan (*Compression Testing Machine*) dengan kapasitas 1500 kN.

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

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

dimana:

$f'_{cf}$  = Kuat tekan beton/beton serat (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas penampang silinder =  $\frac{1}{4} D^2$  (mm<sup>2</sup>)

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

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

dimana:

- $f'_{cf}$  = Kuat tekan beton serat (MPa)
- $f'_c$  = Kuat tekan beton tanpa serat (MPa)
- $V_f$  = Volume fraksi serat (%)

## 2. Kuat tarik beton

Kuat tarik beton ditentukan dengan pengujian tarik belah (*splitting tension test*). Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan tarik beton secara tidak langsung pada spesimen silinder yang direbahkan dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada silinder beton.

Kuat tarik belah beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

- $f_{ct}$  = Kuat tarik beton/beton serat (MPa)
- $P$  = Beban tekan maksimum (N)
- $L$  = Panjang silinder beton/beton serat (mm)
- $D$  = Diameter silinder beton/beton serat (mm)

Menurut Purwanto (1999), dalam Narayanan dan Darwish (1988), mengusulkan persamaan untuk model kuat tarik belah silinder beton serat yang didasarkan pada analisis regresi data percobaan, yaitu :

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

dimana:

- $f_{spf}$  = Kuat tarik belah silinder beton serat (MPa)

- $f_{\text{cuf}}$  = Kuat tekan kubus beton serat (MPa)  
 A = Tetapan non dimensi yang bernilai (20 - F)  
 B = Tetapan yang bernilai 0,7 MPa  
 C = Tetapan yang bernilai 1,0 MPa  
 F = *Fiber factor* ( $F = (l_f/d_f) V_f$ )  
     dengan  $l_f/d_f = \textit{Fiber aspect ratio}$   
              $V_f = \textit{Fiber volume fraction}$  (%)  
             = faktor lekatan *fiber*-beton, ditetapkan nilai relatif 0,5  
             untuk serat berpenampang bundar, 0,75 untuk serat *crimped* atau *hooked*, dan 1,0 untuk serat *indented*.

Menurut Purwanto (1999), ada beberapa usulan persamaan/formula yang telah dikembangkan untuk memprediksi kuat tarik beton serat, usulan tersebut antara lain sebagai berikut :

a. Usulan Wafa dan Ashour (1992)

Persamaan untuk memprediksi kuat tarik beton serat mutu tinggi berdasarkan kuat tarik beton tanpa serat mutu tinggi. Persamaan tersebut adalah :

$$f'_{\text{spf}} = f'_{\text{sp}} + 3,02 V_f \dots \dots \dots (5)$$

dimana:

$f'_{\text{spf}}$  = Kuat tarik beton serat (MPa)

$f'_{\text{sp}}$  = Kuat tarik beton tanpa serat (MPa) =  $0,58\sqrt{f'_c}$   
 dengan  $f'_c$  = kuat tekan beton tanpa serat (MPa)

$V_f$  = volume fraksi serat (%)

b. Usulan Wafa, Hasnat dan Tarabolsi (1992)

Persamaan ini didasarkan atas hasil percobaan. Persamaan tersebut adalah :

$$f'_{\text{spf}} = f'_{\text{sp}} + 1,8 V_f \dots \dots \dots (6)$$

dimana:

$f'_{\text{spf}}$  = Kuat tarik beton serat (MPa)

$f'_{\text{sp}}$  = Kuat tarik beton tanpa serat (MPa) =  $0,51\sqrt{f'_c}$   
 dengan  $f'_c$  = kuat tekan beton tanpa serat (MPa)

$V_f$  = volume fraksi serat (%)



### 3. Kuat tarik lentur beton

Dalam penelitian Dipohusodo (1993) dijelaskan apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di atas dan tegangan tarik di bagian bawah.

Uji kuat lentur beton dilakukan pada benda uji berbentuk balok beton bertulang dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm. Balok diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah. Kuat lentur batas (*ultimate flexure strength*) beton atau disebut juga modulus keruntuhan (*modulus of rupture*) adalah beban maksimum yang tercapai selama pembebanan. Menurut ASTM C-78-94, nilai modulus keruntuhan dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

- a. Bila retak terjadi di 1/3 bentang bagian tengah, modulus keruntuhan dapat

dilihat dengan persamaan:

$$\sigma_1 = \frac{P l}{b d^2} \dots \dots \dots (7)$$

- b. Bila retak terjadi di luar 1/3 bentang tengah, modulus keruntuhan dihitung

dengan persamaan:

$$\sigma_1 = \frac{3 P a}{b d^2} \dots \dots \dots (8)$$

dimana:

$\sigma_1$  = Modulus keruntuhan/kuat lentur batas (MPa)

P = Beban maksimum (N)

l = Bentang balok (mm)

b = lebar rata-rata benda uji (mm)

d = tinggi rata-rata benda uji (mm)

a = jarak rata-rata antara garis retak dan tumpuan terdekat pada permukaan tarik balok (mm)

Dalam SNI 2847:2013, dijelaskan bahwa untuk beton berbeban normal yang tidak memakai tulangan, nilai modulus keruntuhan dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$f_r = 0,62 f'_c \dots\dots\dots(9)$$

dimana:

$f_r$  = Modulus keruntuhan/kuat lentur batas (MPa)

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

= Faktor modifikasi, untuk beton normal = 1,0

Menurut Purwanto (1999), dijelaskan bahwa terdapat usulan Swamy et al. (1974) mengenai persamaan yang telah dikembangkan untuk memprediksi kuat tarik/lentur ultimit beton serat. Persamaan ini dikembangkan berdasarkan teori derivatif dengan koefisien-koefisien diperoleh dari analisis regresi data percobaan.

Untuk kuat retak pertama :

$$\sigma_{cf} = 0,843 \sigma_m(1 - Vf) + 2,93 Vf \frac{f_r}{a} \dots\dots\dots(10)$$

Untuk kuat tarik/lentur ultimit :

$$\sigma_{uf} = 0,97 \sigma_m(1 - Vf) + 3,41 Vf \frac{f_r}{a} \dots\dots\dots(11)$$

dimana:

$\sigma_{cf}$  = Kuat retak pertama beton serat (MPa)

- $f_{uf}$  = Kuat tarik/lentur ultimit beton serat (MPa)  
 $f_m$  = Kuat tarik beton (MPa)  
 $V_f$  = *Fiber volume fraction* (%)  
 $L_f/d_f$  = *Fiber aspect ratio*

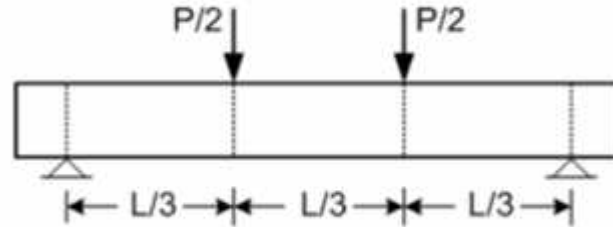
Untuk mengetahui kuat lentur beton dapat diteliti dengan membebani balok pada tengah-tengah bentang atau pada setiap sepertiga bentang dengan beban titik  $\frac{1}{2} P$ . Bobot beban kemudian ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur dan posisi retak utama berada disekitar tengah-tengah bentang. 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.

Berdasarkan pada pembebanan yang diberikan untuk balok beton dengan tumpuan sederhana dan besar masing-masing beban adalah  $\frac{1}{2} P$ , maka besarnya momen maksimum yang terjadi pada  $\frac{1}{3}$  bagian tengah bentang yaitu sebesar:

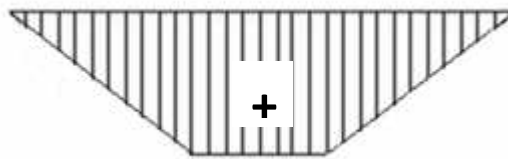
$$M = \frac{1}{6} PL \dots \dots \dots (12)$$

dimana:

- $M$  = Momen maksimum (Nmm)  
 $P$  = Beban maksimum (N)  
 $L$  = Bentang balok (mm)



Gambar 3. Balok sederhana yang dibebani gaya  $P/2$



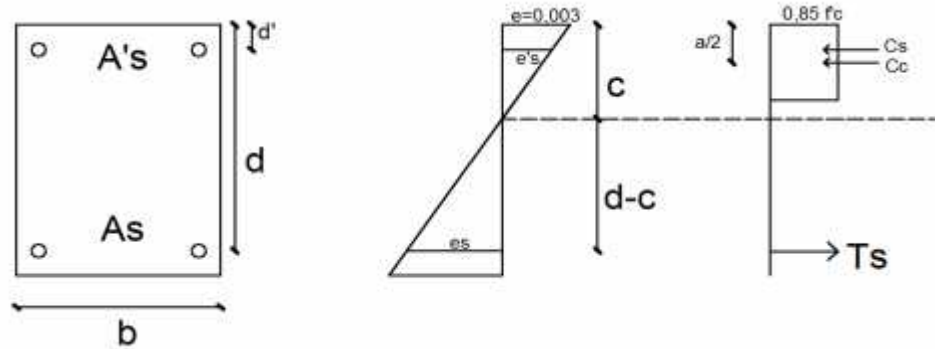
Gambar 4. Diagram momen lentur

4. Kekuatan momen lentur penampang balok beton bertulang

a. Kekuatan momen lentur beton normal

Untuk menghitung kuat lentur nominal ( $M_n$ ) dipakai permisalan sebagai berikut :

- 1) Kekuatan unsur didasarkan pada hitungan yang memenuhi syarat keseimbangan dan kompatibilitas regangan.
- 2) Regangan di dalam baja tulangan dan beton dimisalkan berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral.
- 3) Regangan maksimum yang dapat dipakai pada serat tekan sebesar 0,003.
- 4) Kekuatan tarik beton diabaikan.
- 5) Modulus elastis baja diambil sebesar  $2 \cdot 10^5$  MPa.



Gambar 5. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton normal bertulang (SK SNI T-15-1991-03)

Gaya-gaya dalam :

$$C = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(13)$$

$$T = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(14)$$

Keseimbangan,  $C = T$  sehingga:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(15)$$

Letak garis netral adalah:

$$c = \frac{a}{\beta} \dots\dots\dots(16)$$

Regangan baja tarik pada saat dicapainya regangan beton sebesar,  $\epsilon_{cu} = 0,003$

$$s = \frac{1-c}{c} (0,003) \dots\dots\dots(17)$$

$$y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(18)$$

Bila  $s > y$  maka tulangan tarik meleleh terlebih dahulu.

Kekuatan lentur nominal:

$$M_n = C (d - 0,5a) \dots\dots\dots(19)$$

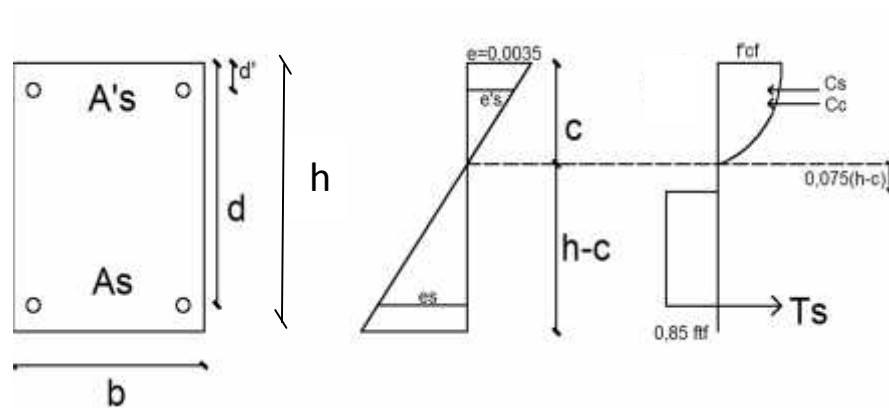
Atau

$$M_n = T (d - 0,5a) \dots\dots\dots(20)$$

b. Kekuatan momen lentur balok beton bertulang yang diberi serat

Pada analisa balok beton serat, kekuatan tarik beton serat diperhitungkan sebagai penambahan kontribusi pada tulangan tarik untuk memperoleh momen ultimit. Ada beberapa usulan yang menjelaskan tentang kekuatan momen lentur balok bertulang yang diberi serat menurut Purwanto (1999), usulan tersebut antara lain :

1) Usulan Suhendro (1991)



Gambar 6. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi serat (Suhendro,1991)

Gaya – gaya dalam :

$$C_c = 0,67 f_{cf}.c.b \dots\dots\dots(21)$$

$$C_s = A'_s.f_y \dots\dots\dots(22)$$

$$T_{cf} = 0,85 \cdot f_{tf} \cdot 0,85 (h - c) \cdot b \dots\dots\dots(23)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(24)$$

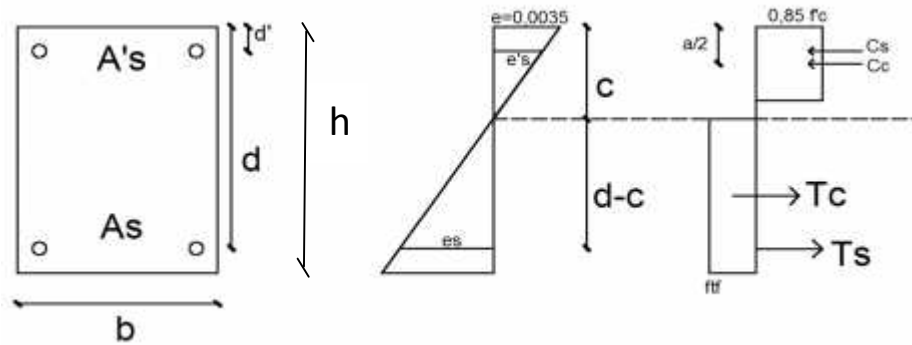
Kekuatan momen lentur nominal :

$$Mn = T_s (d - c) + \frac{T_{cf}(h-c)}{2} + C_c \cdot \frac{5}{8} \cdot c + C_s (c - d') \dots\dots\dots(25)$$

dimana :

- $M_n$  = Kekuatan momen lentur murni (Nmm)
- $T_s$  = Gaya tarik dari baja (N)
- $d$  = Tinggi efektif balok (mm)
- $c$  = Jarak garis netral ke serat terluar bagian tekan (mm)
- $T_{cf}$  = Gaya tarik dari beton serat (Nmm)
- $h$  = Tinggi total balok (mm)
- $C_c$  = Resultan gaya tekan dari beton serat (N)
- $C_s$  = Resultan gaya tarik dari baja daerah tekan (N)
- $A_s$  = Luas baja tulangan ( $mm^2$ )
- $f'_{cf}$  = Kuat tekan beton serat (MPa)
- $f_{tf}$  = Kuat tarik lentur beton serat (MPa)

2) Usulan Henager dan Doherty (1976)



Gambar 7. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi serat (Henager & Doherty,1976)

Gaya – gaya dalam :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_{cf} \cdot c \cdot b \dots\dots\dots(26)$$

$$C_s = A'_s \cdot f_y \dots\dots\dots(27)$$

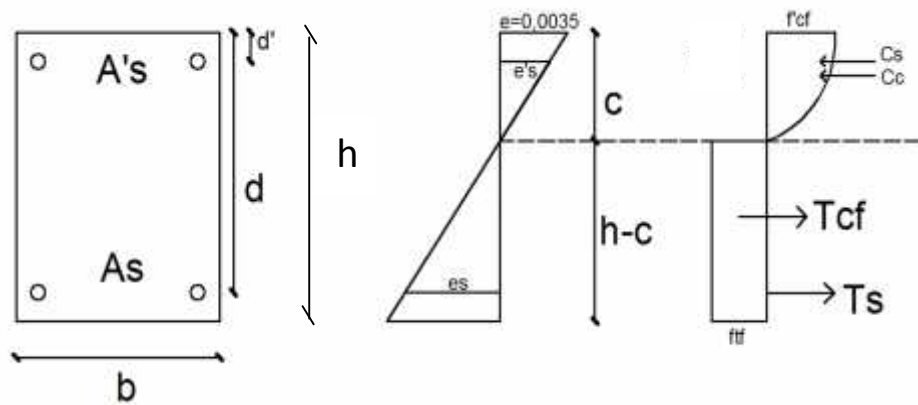
$$T_{cf} = f_{tf} \cdot (h - c) \cdot b \dots \dots \dots (28)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots \dots \dots (29)$$

Kekuatan momen lentur nominal :

$$Mn = T_s (d - c) + \frac{T_{cf}(h-c)}{2} + C_c \left( c - \frac{a}{2} \right) + C_s (c - d') \dots \dots \dots (30)$$

3) Usulan Swamy dan Al – Ta’an (1981)



Gambar 8. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi serat (Swamy & Al – Ta’an,1981)

Gaya – gaya dalam :

$$C_c = 0,67 \cdot f'_{cf} \cdot c \cdot b \dots \dots \dots (31)$$

$$C_s = A'_s \cdot f_y \dots \dots \dots (32)$$

$$T_{cf} = f_{tf} \cdot (h - c) \cdot b \dots \dots \dots (33)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots \dots \dots (34)$$

Kekuatan momen lentur nominal :

$$Mn = T_s (d - c) + \frac{T_{cf}(h-c)}{2} + C_c \cdot 0,625 c + C_s (c - d') \dots \dots \dots (35)$$



## G. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai beton serat telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, khususnya tentang beton serat yang menggunakan bahan lokal yaitu kawat bendrat. Penelitian yang dilakukan beraneka ragam diantaranya mengenai pengaruh bentuk geometri serat dalam penambahan campuran beton. Selain itu, penelitian tentang pengaruh beban tekan berulang atau beban fatik terhadap perilaku beton juga telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu.

Pada penelitian Foermansah (2013) tentang penambahan serat kawat bendrat berbentuk “Z” ke dalam adukan beton menggunakan variasi panjang serat 4 cm, 6 cm dan 8 cm dengan diameter 1 mm, serta kadar serat 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1% dari berat total adukan. Nilai *f<sub>as</sub>* yang digunakan 0,55. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah (umur 28 hari), diperoleh nilai maksimalnya terdapat pada campuran beton yang diberi tambahan serat kawat bendrat berbentuk “Z” dengan panjang serat 6 cm dan kadar serat 0,75%. Pada pengujian kuat tekan dan tarik belah beton *fiber* mengalami peningkatan lebih dari 50% dari beton normal. Ini menunjukkan bahwa penambahan serat lokal kedalam adukan beton meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah.

Handiyono (1994) menjelaskan dalam penelitiannya mengenai bentuk geometri serat kawat bendrat membuktikan bahwa *thoughness index* beton dengan serat *hooked* dapat ditingkatkan lebih besar bila dibandingkan dengan beton dengan serat lurus maupun dengan beton biasa. Hal ini membuktikan bahwa penambahan

serat *hooked* pada beton dapat meningkatkan daktilitas. Tegangan tarik beton meningkat bila dibandingkan dengan beton serat lurus dan beton biasa. Pola retak balok beton dengan serat lurus adalah retak-retak tunggal dengan sedikit retak halus, sedangkan balok dengan serat *hooked* lebih mampu menahan retak dibanding serat lurus. Pada beton normal, pola retak tidak beraturan.

Penelitian Leksono, Suhendro dan Sulistyio (1995) tentang beton serat yang menggunakan kawat bendrat berbentuk lurus dan berkait ke dalam campuran beton. Kemudian beton diuji kuat desak, kuat lentur, kuat tarik dan pengujian balok beton. Kawat bendrat diameter  $\pm 1$  mm dipotong dengan ujungnya berkait (*hooked fiber*) dan panjang 60 mm, fas 0,55 dan volume *fiber* kawat ( $v_f$ ) 0,7% volume adukan. Dengan berat jenis kawat bendrat  $6,68 \text{ gr/cm}^3$ , maka berat yang harus ditambahkan ke dalam  $1 \text{ m}^3$  adukan beton (dibulatkan) 50 kg. Untuk balok beton bertulang dengan ukuran  $15 \times 25 \times 180 \text{ cm}$  dengan kandungan *fiber* 0,25 ; 0,5 ; 0,75 dan 1,00% . Dari penelitian yang telah dilakukan dengan menambahkan *fiber* sebanyak 0,75 sampai dengan 1% dari volume beton dengan menggunakan *aspect ratio* sekitar 60 – 70 akan memberikan hasil yang optimal. Penambahan *hooked fiber* ke dalam adukan beton dapat menurunkan kelecakan adukan beton sehingga beton menjadi sulit dikerjakan. Kuat tarik, kuat desak dan kuat lentur meningkat setelah diberi *hooked fiber*. Untuk kandungan *fiber* yang optimal 0,75. (Ariatama, 2007).

Setiawan (2013) menjelaskan pada penelitiannya tentang pengaruh beban fatik terhadap kapasitas lentur balok beton bertulang. Penelitian dilakukan dengan

benda uji balok berukuran 30x50x600 cm yang berjumlah 2 buah. Benda uji tersebut dipasang *electrical strain gauge* pada baja dan beton. Benda uji balok beton bertulang ditempatkan pada *loading frame* dan diberi beban dengan bantuan *hydraulic jack* dan *load cell*. Hasil data pertambahan beban, defleksi dan regangan tercatat melalui *data logger*. Hasil pembebanan fatik membuktikan bahwa kapasitas balok beton bertulang mengalami penurunan. Semakin besar jumlah siklus yang diberikan, maka semakin besar pula momen.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Adianto (2004) tentang penambahan serat *polypropylene* dan serat nylon dengan ukuran 19 mm pada adukan beton, dilakukan pengujian kuat tekan, kuat lentur, modulus elastisitas dan pembebanan berulang. Perencanaan campuran beton dengan kuat tekan 30 MPa dan dikerjakan dengan metode ACI Committee 544 (1993). Pada pengujian pembebanan berulang, benda uji diberi beban berbentuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi 3 Hz, kuat tekan minimum sebesar 10% dari kuat tekan hancurnya (3 MPa), dan kuat tekan maksimum sebesar 90% dari kuat tekan hancurnya (27 MPa). Pengujian pembebanan berulang dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) terhadap benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian adalah berupa catatan jumlah siklus yang menyebabkan kehancuran beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model untuk serat *polypropylene* adalah lebih baik dalam menjelaskan hubungan antara pembebanan berulang dengan kadar serat dibandingkan dengan model untuk serat nylon.

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Umum**

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penelitian yang akan dilakukan mengenai perbandingan pengaruh penambahan serat kawat bendrat lurus (*straight*) dengan bendrat berkait (*hooked*) terhadap perilaku beton dengan beban tekan berulang untuk uji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur pada beton mutu normal. Kadar serat bendrat yang ditambahkan untuk masing-masing bentuk serat bendrat sebanyak 0,75% dari volume adukan. Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji balok beton dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari.

## B. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

### 1. Semen

Semen yang digunakan yaitu semen PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merk dagang Semen Padang yang didapat dari toko dalam keadaan baik, tertutup dalam kemasan (zak) 50 kg.

### 2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, kadar lumpur, kandungan zat organik dan berat volume yang memenuhi standar ASTM. Agregat halus yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pasir yang berasal dari daerah Gunung Sugih, Lampung Tengah.

### 3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, dan berat volume agregat yang memenuhi standar ASTM. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian yaitu agregat kasar yang berupa batu pecah berasal dari daerah Tanjungan, Lampung Selatan dengan ukuran maksimum sebesar 20 mm.

### 4. Air

Air yang digunakan adalah air bersih yang tidak mengandung lumpur, minyak, garam yang dapat larut dan benda-benda lainnya yang dapat merusak beton.

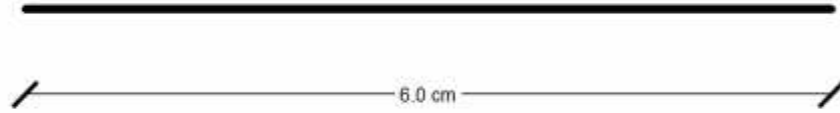
Pada penelitian ini, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

#### 5. Tulangan

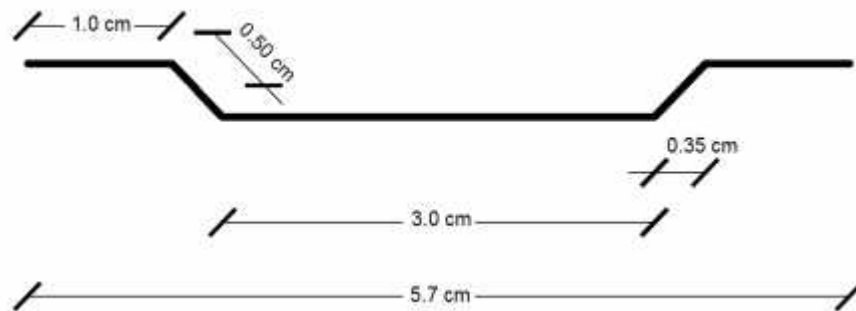
Tulangan baja yang dipakai adalah tulangan ulir dengan diameter 10 mm untuk tulangan memanjang pada benda uji balok.

#### 6. Serat

Serat yang digunakan adalah kawat bendrat yang memiliki diameter 1 mm dan dipotong-potong sepanjang 60 mm. *Volume fraction* ( $V_f$ ) diambil 0,75% terhadap adukan beton. Kawat bendrat yang digunakan berbentuk bendrat lurus (*straight*) dan berkait (*hooked*). Pembentukan serat bendrat lurus (*straight*) diawali dengan mengukur kawat bendrat sepanjang 60 mm, lalu dipotong dengan gunting khusus dan jika masih ada bagian yang bengkok diluruskan dengan bantuan tang. Sedangkan untuk pembentukan serat bendrat berkait (*hooked*), diawali dengan mengukur kawat bendrat sepanjang 60 mm. Kemudian kawat yang masih berbentuk lurus dipotong, selanjutnya kawat bendrat dibentuk menggunakan alat pembentuk kawat (Lampiran D-2) yang sebelumnya sudah disiapkan. Bentuk serat bendrat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Bentuk serat bendrat lurus (*straight*)



Gambar 10. Bentuk serat bendrat berkait (*hooked*)

## 7. *Superplasticizer*

*Superplasticizer* adalah bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara malapisi pasta semen, sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability*. Bahan ini dapat menurunkan viskositas pasta semen, sehingga pasta semen lebih alir. Hal tersebut menunjukkan penggunaan air dapat diturunkan dengan penambahan *superplasticizer*. Jumlah *superplasticizer* yang digunakan relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya pemisahan (*segregasi/bleeding*). *Superplasticizer* yang digunakan yaitu dari produk naptha 7055.

### C. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Timbangan

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).

2. 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.

3. 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.

4. Cetakan Benda Uji

Cetakan benda uji yang digunakan ada 2 jenis yaitu bentuk silinder dan balok. Cetakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm



digunakan pada pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Cetakan berbentuk balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm digunakan pada pengujian kuat lentur beton.

5. Piknometer

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

6. Botol *La Chatelier*

Alat ini digunakan untuk mengetahui berat jenis dari PCC (*Portland Composite Cement*). Alat ini memiliki kapasitas sebesar 250 ml.

7. Alat Vicat

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

8. Mesin Pengaduk Beton (*Concrete Mixer*)

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

9. *Slump Test Apparatus*

Kerucut Abrams yang digunakan beserta tilam pelat baja dan tongkat baja ini berfungsi untuk mengetahui kelecakan 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.

#### 10. *VB-test Apparatus*

*VB-test Apparatus* digunakan untuk mengukur kelecakan pada beton serat. Alat ini terdiri dari kerucut Abrams yang diletakkan di dalam kontainer silinder dari bahan baja dan ditempatkan diatas meja getar dengan frekuensi getar tertentu.

#### 11. Mesin Penggetar Internal (*Vibrator*)

*Vibrator* 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.

#### 12. Bak Perendam

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

#### 13. *Compressing Testing Machine (CTM)*

Alat ini digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan dan tarik belah beton silinder. CTM yang digunakan adalah merk Wykeham FARANCE yang berkapasitas beban maksimum 1500 kN dengan ketelitian 5 kN dan kecepatan pembebanan sebesar 0,14 – 0,34 Mpa/det.

#### 14. *Hydraulic Jack*

Alat ini berkapasitas 32 ton yang merupakan alat bantu untuk melakukan pengujian lentur beton.

### 15. *Loading Frame*

Alat ini berupa *frame* dari profil baja yang cukup kaku dan kuat, serta dilengkapi tumpuan rol yang dapat diatur posisinya.

### 16. Alat Bantu

Untuk memperlancar dan mempermudah pelaksanaan penelitian, digunakan beberapa alat bantu antara lain sendok semen, sekop, gelas ukur, *stopwatch*, alat pembentuk serat kawat bendrat, mistar, tang, *trolley* dorong, ember, dan kontainer.

## **D. Prosedur Pelaksanaan Penelitian**

Pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut :

### 1. Persiapan bahan

Pada tahap persiapan, seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan lancar.

### 2. Pemeriksaan bahan campuran beton

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap bahan yang digunakan. Dari hasil pengujian dapat diketahui apakah bahan memenuhi persyaratan atau tidak. Hasil dari pengujian akan digunakan sebagai data rancang campuran adukan beton. Pengujian yang dilakukan terdiri dari :

#### a. Pengujian agregat halus

- 1) Gradasi agregat halus (ASTM C-33-93)
- 2) Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C-128-98)

- 3) Kadar air agregat halus (ASTM C-566-78)
  - 4) Berat volume agregat halus (ASTM C-29)
  - 5) Kadar lumpur agregat halus dengan saringan (ASTM C-117-80)
  - 6) Kandungan zat organik dalam pasir (ASTM C-40-92)
- b. Pengujian agergat kasar
- 1) Gradasi agregat kasar (ASTM C-33-93)
  - 2) Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (ASTM C-127-88)
  - 3) Kadar air agregat kasar (ASTM C-556-78)
  - 4) Berat volume agregat kasar (ASTM C-29)
- c. Pengujian semen
- 1) Berat jenis semen
  - 2) Waktu pengikatan semen
3. Perencanaan campuran beton (*mix design*)
- Perencanaan campuran antara agregat-agregat, air, dan semen sangat penting untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan. Pada penelitian ini komposisi perancangan campuran beton (*mix design*) menggunakan metode ACI Committee 544 (1993) dengan kekuatan yang direncanakan ( $f'_c$ ) beton mutu normal. Serat bendrat lurus dan berkait menggunakan aspek rasio ( $l/d$ ) 60 dan *volume fraction* 0,75%. Dengan mengikuti prosedur pada metode tersebut maka akan diperoleh kebutuhan bahan-bahan susun beton serat untuk  $1 \text{ m}^3$ .
4. Pembuatan benda uji
- Pada tahap ini benda uji yang akan dibuat terdiri dari 2 jenis yaitu silinder diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm, dan balok dengan ukuran 150 mm x

150 mm x 600 mm. Setiap variasi terdiri dari 9 (sembilan) benda uji, yaitu 6 (enam) benda uji silinder dan 3 (tiga) benda uji balok, yang akan dilakukan pengujian pada saat berumur 28 hari. Jumlah dan kode benda uji dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah dan kode benda uji umur 28 hari

Bentuk Serat	Tanpa Serat	Serat Lurus	Serat Berkait	Total
Kuat Tekan	T.0.1	T.L.1	T.B.1	27
	T.0.2	T.L.2	T.B.2	
	T.0.3	T.L.3	T.B.3	
Kuat Tarik Belah	TB.0.1	TB.L.1	TB.B.1	
	TB.0.2	TB.L.2	TB.B.2	
	TB.0.3	TB.L.3	TB.B.3	
Kuat Lentur	L.0.1	L.L.1	L.B.1	
	L.0.2	L.L.2	L.B.2	
	L.0.3	L.L.3	L.B.3	
Jumlah	9	9	9	

Tahap-tahap pembuatan benda uji yaitu sebagai berikut:

- a. Pembuatan campuran adukan beton sesuai proporsi campuran hasil perhitungan beton serat.
  - 1) Menyiapkan bahan-bahan campuran beton

Bahan-bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, dan semen disiapkan terlebih dahulu dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD). Hal ini dilakukan agar bahan-bahan tersebut tidak menyerap air atau menambah air pada proses pencampuran yang akan mempengaruhi kekuatan beton.

## 2) Pencampuran adukan beton

Setelah semua bahan selesai disiapkan, tahap selanjutnya yaitu dilakukan pencampuran. Perbandingan berat bahan-bahan susun beton diperhitungkan menggunakan metode ACI Committee 544 (1993). Langkah pertama memasukkan agregat kasar, sebagian air pencampur dan cairan bahan tambah bila diperlukan. Selanjutnya, menghidupkan mesin pengaduk, kemudian tambahkan agregat halus, semen, dan sisa air saat mesin pengaduk berputar. Proses pengadukan berlangsung selama tiga menit, dan diikuti dengan tiga menit berhenti, dilanjutkan dengan pengadukan terakhir selama dua menit (SNI 2493:2011).

### b. Penambahan serat bendrat

- 1) Menaburkan serat secara merata ke dalam *concrete mixer* berisi adukan beton biasa yang berputar dengan kecepatan normal.
- 2) Penaburan serat dilakukan dengan hati-hati dan diusahakan agar serat tersebar merata di dalam adukan beton sehingga tidak terjadi penggumpalan serat (*balling effect*) yang dapat mempengaruhi kekuatan beton serat. Jumlah serat yang ditambahkan sesuai dengan *volume fraction* yang telah ditentukan yaitu 0,75% dari adukan beton.
- 3) Langkah-langkah penambahan serat yang telah disebutkan berlaku untuk campuran beton yang diberi penambahan serat bendrat berbentuk lurus, maupun yang diberi serat bendrat berkait.

c. Pemeriksaan nilai *slump* dan *VB-time* adukan beton

- 1) Menyiapkan alat *slump test* (kerucut Abrams) dan diletakkan diatas meja getar (*VB-test*), lalu adukan beton dimasukkan di dalamnya hingga  $\frac{1}{3}$  bagian, lalu dipadatkan dengan alat penumbuk sebanyak 25 kali. Kemudian, menambahkan adukan sampai  $\frac{2}{3}$  bagian lalu ditumbuk 25 kali kembali. Adukan ditambahkan sampai penuh, setelah itu ditumbuk sebanyak 25 kali lalu bagian atas diratakan.
- 2) Setelah didiamkan selama kira-kira satu menit, kerucut Abrams diangkat lurus ke atas dan mengukur penurunan yang terjadi (nilai *slump*).
- 3) Hasil dari penarikan kerucut yang berupa adukan berbentuk kerucut terpancung ini digetarkan didalam kontainer di atas meja getar hingga permukaan horizontal (rata).
- 4) Waktu penggetaran yang diperlukan untuk proses tersebut dinamakan *VB-time*.

d. Pencetakan benda uji silinder dan balok

- 1) Menyiapkan cetakan benda uji.
- 2) Memasukkan adukan ke dalam cetakan hingga penuh sambil dipadatkan dengan *vibrator*, hal ini bertujuan agar tidak terjadi *segregasi* di campuran beton.
- 3) Setelah cetakan penuh dan padat, permukaan diratakan.
- 4) Melepaskan beton dari cetakan setelah 24 jam.
- 5) Memberi masing-masing kode sampel di atas cetakan beton.

#### 5. Perawatan terhadap benda uji (*curing*)

Perawatan terhadap benda uji bertujuan agar permukaan beton segar tetap lembab sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu beton dapat terjamin. Perawatan ini dilakukan dengan cara merendam benda uji silinder dan balok dalam bak perendam, pastikan benda uji sudah terlepas dari cetakan setelah 24 jam. Benda uji direndam selama waktu yang sudah ditentukan, benda uji diangkat dan diangin-anginkan untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

#### 6. Pelaksanaan pengujian

##### a. Uji kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) berkapasitas 1500 kN dengan kecepatan pembebanan 0,14 – 0,34 Mpa/detik. Benda uji silinder beton yang telah dianginkan setelah melalui proses *curing* diangkat dan ditimbang. Kemudian, dicatat dan diberi tanda. Sebelum melakukan pengujian kuat tekan beton, permukaan tekan benda uji silinder harus rata agar tegangan terdistribusi secara merata pada penampang benda uji. Dalam hal ini, benda uji diberi lapisan belerang setebal 1,5 – 3 mm pada permukaan tekan benda uji, atau dapat dilakukan dengan memberi pasta semen. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari



Benda uji diletakkan pada ruang penekan CTM dengan posisi tegak lurus dan memastikan jarum penunjuk tepat pada titik nol. Selanjutnya, mesin tekan dihidupkan dan secara perlahan alat akan menekan benda uji silinder. Beban yang diberikan berupa beban tekan berulang dengan pembebanan awal sebesar 10% dari kuat tekan karakteristik. Pembebanan akan dilakukan berulang sesuai dengan kelipatan dari pembebanan awal sampai beton mengalami hancur.

Melakukan pengamatan pada setiap perubahan atau penambahan kuat tekan pada jarum pengukurnya berdasarkan dari hasil pembebanan berulang, apabila jarum sudah tidak bergerak lagi (benda uji sudah hancur) maka mesin dimatikan. Membaca dan mencatat angka pada jarum pengukur yang merupakan besarnya beban tekan beton untuk setiap benda uji. Kemudian menghitung besarnya kuat tekan benda uji silinder. Dari pengujian ini didapat hasil beban maksimum yang mampu ditahan oleh silinder beton sampai silinder beton hancur berdasarkan pembebanan berulang.

b. Uji kuat tarik belah beton

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM), dengan cara menekan silinder beton pada posisi rebah (horizontal). Benda uji silinder diletakkan sentris pada mesin uji dan pemberian beban dilakukan dengan memberikan beban tekan berulang. Kuat tarik belah diambil 10% dari kuat tekan karakteristik dan besar beban berulang didapat dari 10% dari beban maksimum. Beban maksimum diperoleh dari perkalian antara kuat tarik belah dengan setengah luas

selimut silinder. Kuat desak yang diperlukan untuk membuat silinder terbelah disebut dengan kuat tarik belah. Dari pengujian ini didapat hasil beban maksimum yang mampu ditahan oleh silinder beton sampai silinder beton hancur berdasarkan pembebanan tekan berulang.

c. Uji kuat lentur beton

Pengujian kuat lentur beton dilakukan dengan menggunakan alat *Hydraulic Jack*. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari. Kuat lentur diteliti dengan membebani balok setiap sepertiga bentang dengan beban titik  $1/2P$ . Kemudian, diberikan beban tekan berulang dari *Hydarulic Jack* dengan sistem pompa, sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi pada sekitar area tengah bentang. Proses pembebanan dilakukan secara berulang sebesar 10% dari beban maksimum. Beban maksimum diperoleh dari nilai momen lentur ultimit penampang balok. Hasil pembebanan maksimum yang menyebabkan beton hancur dicatat dan dianalisis.

7. Analisis Hasil

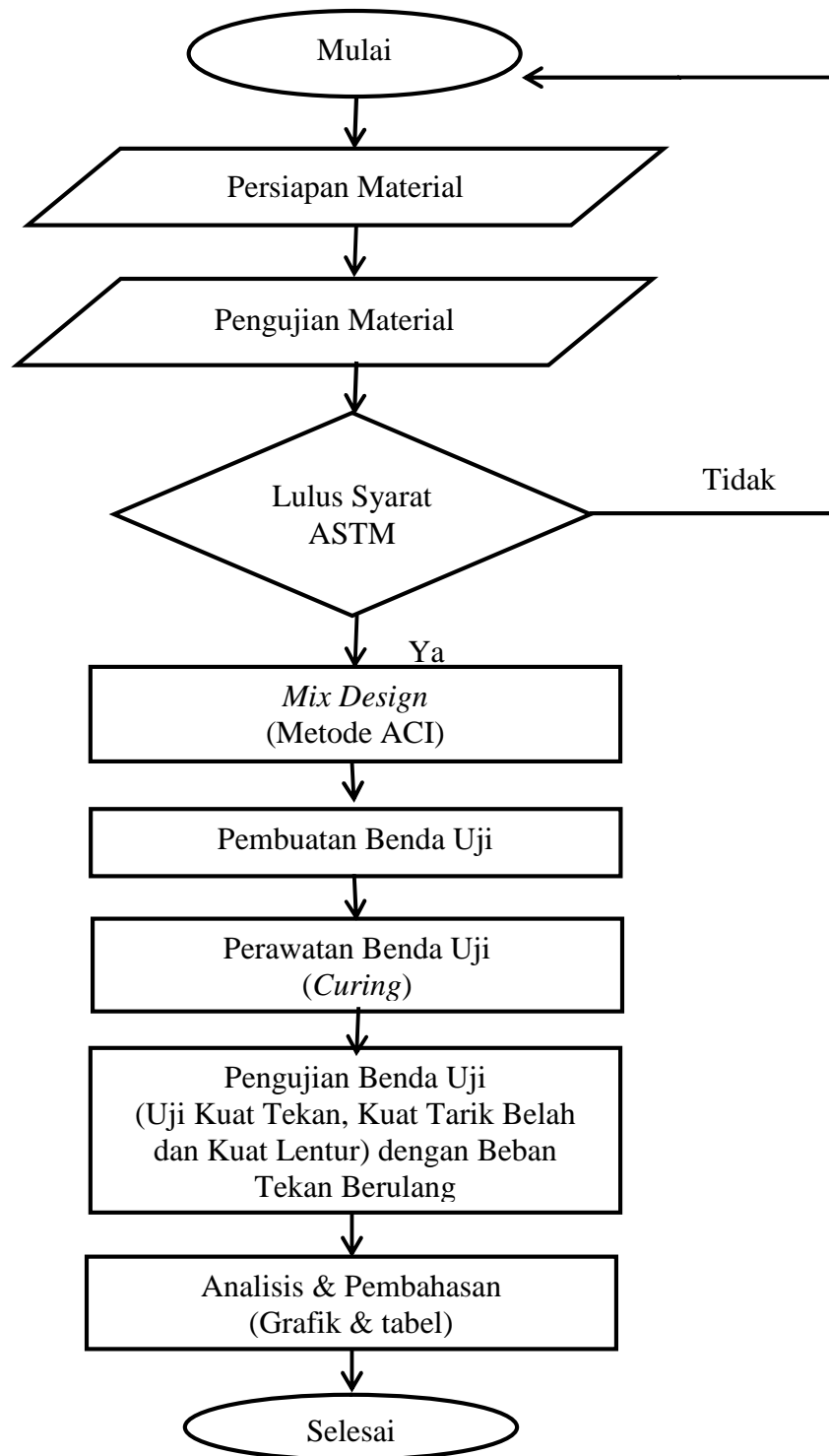
Tahap analisis hasil dari penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Menghitung berat volume beton untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan cara menimbang massa beton kemudian dibagi volumenya.
- b. Menghitung berat volume beton untuk benda uji balok ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm dengan cara menimbang massa beton kemudian dibagi volumenya.

- c. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, tarik belah dan lentur dengan pembebanan berulang dibuat grafik interval pembebanan untuk masing-masing variasi, kemudian menganalisanya
- d. Menghitung kuat tekan beton untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan menggunakan persamaan (1) dan disajikan dalam bentuk tabel.
- e. Menghitung kuat tarik belah beton untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan menggunakan persamaan (3) dan disajikan dalam bentuk tabel.
- f. Menghitung kuat lentur beton untuk benda uji balok ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm dengan menggunakan persamaan (9) dan disajikan dalam bentuk tabel.
- g. Dari hasil pengujian kuat tekan dibuat grafik hubungan pengaruh bentuk serat benrat antara serat benrat lurus dan berkait terhadap kuat tekan, kemudian menganalisanya.
- h. Dari hasil pengujian kuat tarik belah dibuat grafik hubungan pengaruh bentuk serat benrat antara serat benrat lurus dan berkait terhadap kuat tarik belah, kemudian menganalisanya.
- i. Dari hasil pengujian kuat lentur dibuat grafik hubungan pengaruh bentuk serat benrat antara serat benrat lurus dan berkait terhadap kuat lentur, kemudian menganalisanya.
- j. Membandingkan hasil kuat tekan yang didapat dari Persamaan (1) dengan Persamaan (2).

- k. Membandingkan hasil kuat tarik belah yang didapat dari Persamaan (3) dengan Persamaan (4), (5) dan (6).
- l. Membandingkan hasil kuat tarik lentur yang didapat dari Persamaan (7) dengan Persamaan (9), (10) dan (11).
- m. Menghitung dan membandingkan nilai kuat momen lentur nominal beton bertulang pada persamaan (12), (25), (30) dan (35) untuk masing-masing variasi bentuk serat dan disajikan dalam bentuk tabel.

### E. Diagram Alir Penelitian



Gambar 11. Diagram alir pelaksanaan penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bentuk geometri serat kawat bendrat yang berkait (*hooked*) mempengaruhi penurunan kelecakan (*workability*), yaitu nilai *slump* lebih kecil dan *VB-time* semakin meningkat dibandingkan dengan serat kawat bendrat berbentuk lurus (*straight*) dan beton biasa (tanpa serat).
2. Penambahan bahan kimia tambahan (*superplasticizer*) sebesar 0,8% dari berat semen pada adukan beton dengan menggunakan *volume fraction* 0,75%, *aspect ratio* ( $l/d$ ) 60, dan penambahan serat berupa kawat bendrat lurus (*straight*) serta kawat bendrat berkait (*hooked*) tidak berpengaruh besar terhadap *workability*. Hal ini dapat dilihat dari nilai *VB-time* yang besar dan nilai *slump* yang tidak sesuai dengan rencana.
3. Penambahan serat pada beton dengan bentuk berkait (*hooked*) lebih mampu menahan kelelahan akibat pembebanan yang berulang untuk uji kuat tekan, tarik belah dan lentur dilihat dari lebih banyaknya interval pembebanan yang dialami beton hingga hancur.
4. Kuat tekan beton, kuat tarik belah, dan kuat lentur tertinggi dengan menggunakan pembebanan berulang, terjadi pada beton dengan

penambahan serat kawat bendrat berkait (*hooked*), yaitu masing-masing sebesar 34,5189 MPa, 3,2067 MPa, dan 8,9380 MPa. Namun, nilainya tidak mengalami peningkatan yang cukup signifikan antara variasi serat bendrat lurus (*straight*) dengan serat bendrat berkait (*hooked*).

5. Dilihat dari peningkatan kekuatan antara serat bendrat lurus (*straight*) dan berkait (*hooked*) yang tidak berbeda jauh, sehingga lebih baik digunakan penambahan serat bendrat berbentuk lurus (*straight*) dalam adukan beton karena untuk mempermudah proses pengerjaan yaitu tidak perlu melakukan proses pembentukan serat bendrat lagi seperti yang dilakukan pada serat bendrat berbentuk berkait (*hooked*).
6. Penambahan serat bendrat berkait (*hooked*) tidak memberikan kontribusi yang besar dalam peningkatan kuat tekan, sedangkan pada kuat tarik belah dan lentur, serat bendrat berkait (*hooked*) pada penelitian ini mempunyai kuat tarik yang tinggi dan dapat memberikan peningkatan kuat tarik yang signifikan.

## **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, hal yang dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan dalam perencanaan campuran (*mix design*) serta dibutuhkan ketelitian saat proses pembuatan benda uji dari persiapan awal sampai tahap pengecoran, karena dapat menentukan kualitas beton yang dihasilkan.

2. Perlu dilakukan uji coba komposisi (*trial*) sebelum dilaksanakan penelitian, agar diperoleh hasil pengujian yang lebih akurat.
3. Perlu lebih diperhatikan pada saat proses pengerjaan dan pemadatan agar serat bendrat lurus (*straight*) dan berkait (*hooked*) terdistribusi secara merata.
4. Pada saat pelaksanaan *capping* beton diusahakan benar-benar rata agar pada waktu pengujian seluruh permukaan benda uji mendapat tekanan yang sama untuk memperoleh hasil maksimal.
5. Pada pengujian kuat tarik lentur perlu dilakukan pengamatan terhadap pola retak dengan menggunakan alat *microcrack* agar dapat diketahui lebar dan pola retak yang lebih akurat,
6. Dapat dilakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan serat bendrat dengan bentuk geometri serat yang lebih beragam dan dengan berbagai *aspect ratio* yang berbeda.
7. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variasi *volume fraction* serat yang lebih beragam, sehingga didapat kadar optimum serat yang lebih spesifik.
8. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kadar bahan kimia tambahan (*superplasticizer*) yang lebih beragam, sehingga didapat kadar optimum *superplasticizer* yang lebih spesifik.
9. Pada proses pelaksanaan sebaiknya menggunakan alat K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) yang lengkap dikarenakan penggunaan kawat bendrat yang cepat berkarat dapat melukai tubuh jika tidak hati-hati.



## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 544. 1984. *Guide for Specifying, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*. ACI Journal. Mar-Apr, 1984. Vol.81, No:2.
- ACI Committee 544. 1988. *Design Consideration For Steel Fiber Reinforced Concrete*. Report : ACI 544.4R – 88
- ACI Committee 544. 1993. *Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*. Report : ACI 544.3R – 93
- Adianto, Y. L. D., Basuki, T., 2004. *Pengaruh Penambahan Serat Nylon Terhadap Kinerja Beton*. Jurnal Teknik Sipil Vol 12 No.2 edisi. XXIX Juli 2004. Universitas Katholik Parahyangan. Bandung.
- Anonim. 1991. Standar SK-SNI T-15-1991-03: *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Yayasan LPMB Departemen Pekerjaan Umum. Bandung.
- Ariatama, A. 2007. *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat*. Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Semarang.
- ASTM C-33. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. United States.
- ASTM C-39. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States.
- ASTM C-78. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. West Conshohocken. United States.

- ASTM C-150. *Standard Specification for Portland Cement*. United States.
- ASTM C-494. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. United States.
- Dipohusodo, I. 1993. *Struktur Beton Bertulang*. Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU. Jakarta.
- Foermansah, R. 2013. *Tinjauan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Serat Kawat Bendrat Berbentuk "Z" Sebagai Bahan tambah*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Handiyono. 1994. *Pengaruh Bentuk Geometri Serat Bendrat Terhadap Kapasitas Balok Beton Bertulang Model Skala Penuh*. Tesis Program Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Hannant, D.J. 1978. *Fibre Cements and Fibre Concretes*. John Wiley & Sons. New York.
- Leksono, B.T., Suhendro, B. dan Sulistyono, P. 1995. *Pengaruh Fiber Bendrat Berkait Secara Parsial Pada Perilaku dan Kapasitas Balok Beton Bertulang Dengan Model Skala Penuh*. BPPS-UGM, 8(3B), Agustus 1995.
- Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Neville, Adam. M. 1995. *Properties of Concrete*. London.
- Purwanto, E. 1999. *Perilaku Fiber Lokal Pada Perilaku dan Kuat Torsi Ultimit Balok Beton Bertulang*. Tesis Program Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Setiawan, W. 2013. *Pengaruh Beban Fatik Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang*. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Bandung.

SNI 15-7064-2004. 2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

SNI 2493-2011. 2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

Sugiyanto, Sebayang, S. 2005. *Teknologi Bahan*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Suhendro, B. 1991. *Pengaruh Fiber Kawat Lokal Pada Sifat-sifat Beton*. Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.

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.

Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.