

**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KAWAT BENDRAT
PADA BETON MUTU TINGGI TERHADAP KAPASITAS
KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR
(Skripsi)**

Oleh

M KRISNA BAGUS HIDAYAT



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KAWAT BENDRAT PADA BETON MUTU TINGGI TERHADAP KAPASITAS KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR

Oleh

M. KRISNA BAGUS HIDAYAT

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang memiliki keunggulan yaitu mampu menahan kuat tekan yang tinggi tetapi memiliki kuat tarik yang rendah. Untuk mengatasi kelemahan yang ada pada beton, salah satu usaha yang diterapkan adalah menambahkan serat berupa kawat bendrat pada beton tersebut agar dapat meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur beton. Benda uji pada penelitian ini berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta benda uji balok beton dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Pengujian dilaksanakan pada saat beton berumur 28 hari. Sedangkan penambahan serat kawat bendrat dilakukan berdasarkan persentase penambahan *volume fraction* (V_f) terhadap volume beton sebesar 0% ; 0,299% ; 0,695% ; dan 0,990%. Setiap variasi dibuat 9 benda uji terdiri dari 6 silinder dan 3 balok.

Kuat tekan rata-rata pada beton mutu tinggi tanpa kawat bendrat memiliki nilai tertinggi sebesar 50,0118 MPa dibandingkan dengan beton mutu tinggi dengan serat kawat bendrat pada V_f 0,299% sebesar 42,2741 MPa, V_f 0,695% sebesar 41,8967 MPa dan V_f 0,990% sebesar 39,6320 MPa . Sedangkan untuk kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton mutu tinggi dengan *volume fraction* (V_f) 0,990% memiliki nilai tertinggi dengan kuat tarik belah rata-rata sebesar 4,6945 MPa dan kuat lentur rata-rata sebesar 7,9133 MPa.

Kata kunci : Beton mutu tinggi, serat kawat bendrat

ABSTRACT

THE EFFECT OF ADDITION OF BENDRAT WIRE IN HIGH QUALITY CONCRETE ON COMPRESSIVE STRENGTH CAPACITY AND FLEXURAL STRENGTH

By

M. KRISNA BAGUS HIDAYAT

Concrete is one of the construction materials that has the advantage of being able to withstand a high compressive strength but has a low tensile strength. To overcome the weaknesses that exist in the concrete, one of the efforts applied is to add fiber in the form of bendrat wire in the concrete in order to increase the tensile strength and flexural strength of concrete. The specimens of this research are concrete cylinder with diameter 15 cm and height 30 cm and concrete beam object with length 60 cm, width 15 cm, and height 15 cm. Tests were performed at 28-days of concrete. While the addition of bendrat wire fiber is done based on the percentage of volume fraction (Vf) addition to the volume of concrete by 0%; 0,299%; 0,695%; and 0,990%. Each variation was made 9 test specimens consisting of 6 cylinders and 3 beams.

The average compressive strength in high quality concrete without wire bendrat has the highest value of 50,0118 MPa compared with high quality concrete with wire fiber of bendrat at Vf 0,299% equal to 42,2741 MPa, Vf 0,695% equal to 41,8967 MPa and Vf 0,990% equal to 39,6320 MPa. While for splitting strength and flexural strength in high quality concrete with volume fraction (Vf) 0,990% has the highest value with the splitting strength of an average of 4,6945 MPa and the average flexural strength of 7.9133 MPa.

Keywords : High quality concrete, bendrat wire fiber

**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KAWAT BENDRAT PADA BETON
MUTU TINGGI TERHADAP KAPASITAS KUAT TEKAN DAN KUAT
LENTUR**

Oleh
M. KRISNA BAGUS HIDAYAT

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK
Pada
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2018

Judul Skripsi

**: PENGARUH PENAMBAHAN SERAT
KAWAT BENDRAT PADA BETON MUTU
TINGGI TERHADAP KAPASITAS KUAT
TEKAN DAN KUAT LENTUR**

Nama Mahasiswa

: M. Krisna Bagus Hidayat

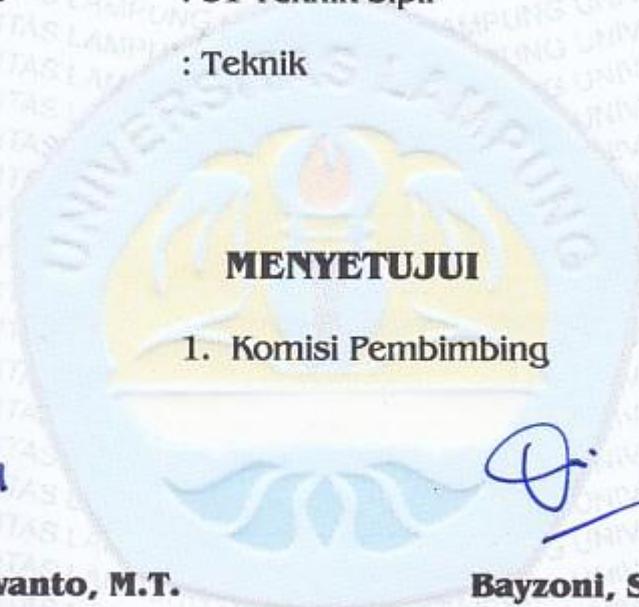
Nomor Pokok Mahasiswa : 1115011058

Program Studi

: S1 Teknik Sipil

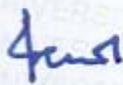
Fakultas

: Teknik



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



Bayzoni, S.T., M.T.
NIP 19730514 200003 1 001

2. Ketua Jurusan



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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



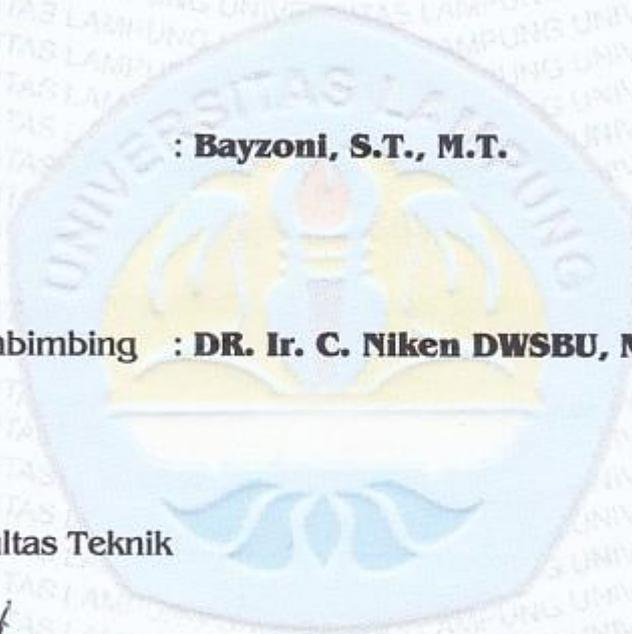
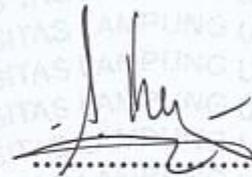
Sekretaris

: **Bayzoni, S.T., M.T.**

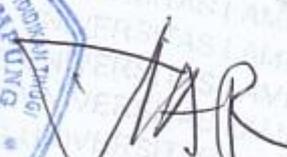


Penguji

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



2. Dekan Fakultas Teknik


Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 April 2018**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M. Krisna Bagus Hidayat

NPM : 1115011058

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul (Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Beton Mutu Tinggi terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Kuat Lentur) tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka.

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

Bandar Lampung, 17 April 2018



M. Krisna Bagus Hidayat

RIWAYAT HIDUP PENULIS



M. Krisna Bagus Hidayat dilahirkan di Metro, pada tanggal 27 Januari 1994. Penulis merupakan anak keempat dari pasangan Bapak Sukisto Hadi S (Alm) dan Ibu Erna Krisnawati (Almh).

Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Pertiwi Teladan Metro Pusat, Kota Metro dan diselesaikan pada tahun 2005. Pendidikan tingkat pertama ditempuh di SMP Negeri 1 Kota Metro yang diselesaikan pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan tingkat atas di SMA Negeri 4 Kota Metro yang diselesaikan pada tahun 2011.

Pada tahun 2011, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung melalui jalur Ujian Mandiri Lokal (UML). Penulis turut dalam organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung pada tahun 2013/2014. Selain itu, Penulis juga mendapat kepercayaan menjadi asisten dosen pada mata kuliah Struktur Beton I tahun 2015. Penulis melakukan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan *Packing Plant* Silo PT. Semen Padang di Lampung Selatan. Pada tahun 2015 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pagar Alam, Kecamatan UluBelu, Kabupaten Tanggamus.

MOTTO HIDUP

" Orang yang BERANI bukan orang yang tidak kenal rasa takut
melainkan orang yang berdiri di tengah-tengah rasa takut"
(Anonim)

" Berjuanglah meskipun itu sulit,
karena Allah selalu mempunyai jalan yang tak terduga bagi hamba-Nya yang berjuang"
(M. Krisna Bagus Hidayat)

" Kalau kamu tidak pernah mencoba
kamu tidak akan pernah bisa,
Coba terus sampai batas diri kamu "

" Berdoa akan membuat hatimu tenang dan selalu percaya diri "

"Hanya ada dua acara untuk menjalani hidup anda
Salah satunya adalah seolah-olah 'nothing is a miracle'
Yang kedua, seolah-olah segala sesuatu adalah keajaiban"
(Albert Einstein)"

SANWACANA

Puji Syukur Penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Beton Mutu Tinggi terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Kuat Lentur*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
3. Bapak Ir. Eddy Purwanto, M.T., selaku pembimbing utama terima kasih atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Bayzoni, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua terima kasih atas kesediaannya dalam memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Ibu DR. Ir. C. Niken DWSBU, M.T., selaku penguji utama pada ujian skripsi. Terimakasih untuk masukan dan saran-saran untuk penelitian ini;

6. Bapak Ir. Setyanto, M.T., selaku pembimbing akademik yang telah membimbing Penulis dengan sangat baik dan bijak sejak awal masuk perkuliahan;
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
8. Bapak dan Ibu Staf Administrasi Fakultas Teknik Unila yang telah membantu Penulis dalam mengurus administrasi selama perkuliahan;
9. Kedua orang tua Penulis Sukisto H.S (alm) dan Erna Krisnawati (almh) yang selalu menjadi pendorong serta motivasi kuat bagi Penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Ketiga kakakku yang aku sayangi, Kartika Agustini P.N, Dwi Indah W.N, dan Tri Prasetya Adhi P yang telah memberikan doanya, dukungan, semangat, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
11. Teman-teman grup SPAM Fahri, Prayoga, Ekanto, Salman, Dio, Trinovita, Yohana, Indah, Nyoman, Galuh, yang telah meluangkan waktu untuk membantu penelitian di laboratorium sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan mudah;
12. Teman-teman grup PINGGIRAN 2011 Asep, Sindu, Kimul, Komang, Rizky, Jesa, Jimmy, Nata, Edo, Fajar, Fikri yang membantu dalam dukungan moril dan saran untuk mengerjakan penelitian ini;
13. Teman, sahabat bahkan keluarga baru seluruh teman seperjuangan Teknik Sipil 2011 yang telah mengisi hari-hari dengan semangat dan senantiasa menjadi inspirasi bagi penulis;

14. Keluarga, adik-adik, sekaligus teman yang saya banggakan angkatan 2012, 2013, Vio dan Melly yang memberikan dukungan teknis dan moril selama penulis mengerjakan penelitian ini

15. Para teknisi laboratorium Bapak Subagio dan Bapak Ngadiono yang telah banyak membantu penulis dalam melaksanakan penelitian di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 2018

Penulis,

M. Krisna Bagus Hidayat

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Beton	5
B. Beton Serat	7
C. Agregat	10
D. Semen Portland	11
E. Air	14
F. <i>Superplasticizer</i>	15
G. Beton Mutu Tinggi	17
H. Serat	17
I. Bahan Tambah Serat Kawat Galvanis	19
J. Kuat Tekan Beton	21
K. Kuat Tarik Beton	23
L. Kuat Lentur Beton	25
M. Kekuatan Momen Lentur Penampang Persegi Balok	26
N. Penelitian Terdahulu	30
III. METODE PENELITIAN	
A. Umum	33
B. Bahan	33
C. Peralatan	35
D. Pelaksanaan Penelitian	38
E. Pengujian Beton	51
F. Analisa Hasil Penelitian	46
G. Diagram Alir Penelitian	56

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Sifat-sifat Fisik Material	57
B. Perencanaan Campuran Beton	65
C. Nilai <i>Slump</i> dan <i>VB-Time</i>	66
D. Berat Volume Beton	68
E. Kuat Tekan Beton	71
F. Kuat Tarik Belah Beton	76
G. Kuat Lentur Bertulang	80
H. Perbandingan Momen Nominal Kuat Lentur Balok Bertulang	83
I. Analisis Retak Balok Beton Bertulang	84

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	89
B. Saran	91

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jenis beton menurut kuat tekannya	5
2. Berat jenis beton menurut jenisnya	6
3. Pengaruh sifat agregat pada sifat beton.....	10
4. Jenis-jenis semen portland dengan sifat-sifatnya.....	13
5. Jenis-jenis fiber dan spesifikasinya	19
6. Spesifikasi fiber untuk jenis kawat galvanis	19
7. Mutu pelaksanaan, volume, adukan dan deviasi standar	40
8. Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas = 0,5	42
9. Persyaratan jumlah semen minimum dan fas maksimum	43
10. Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah bersulfat	43
11. Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air	44
12. Penetapan nilai <i>slump</i> adukan beton	44
13. Perkiraan kebutuhan air dalam 1 m ³ beton.....	45
14. Batas – batas gradasi agregat halus	45
15. Jumlah benda uji kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Perbaikan kuat lentur beton serat	8
2. Perbaikan ketahanan kejut beton serat	8
3. Berbagai bentuk geometri serat baja	21
4. Uji kuat tekan beton	22
5. Balok sederhana yang dibebani gaya $P/2$	25
6. Diagram momen lentur	26
7. Diagram gaya lintang	26
8. Dsitribusi regangan dan tegangan lentur balok beton normal bertulang (SK SNI T-15-1991-03)	27
9. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber. (Henager & Doherty,1976).....	28
10. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber. (Suhendro,1991)	29
11. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber. (Swamy & Al – Ta’an,1981)	30
12. Bentuk serat kawat bendrat penelitian	34
13. Grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan fas	42
14. Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm	46

15. Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm	46
16. Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm	47
17. Grafik hubungan kandungan air, berat jenis campuran dan berat beton	48
18. Pengujian kuat tekan pada beton	53
19. Pengujian kuat tarik belah pada beton	53
20. Pengujian kuat lentur balok beton	55
21. Diagram alir pelaksanaan penelitian	56
22. Grafik hasil pengujian gradasi agregat halus	59
23. Grafik hasil pengujian gradasi agregat kasar	62
24. Grafik hubungan antara nilai <i>volume fraction</i> dan nilai <i>slump</i>	67
25. Grafik hubungan antara nilai <i>volume fraction</i> dan <i>VB-time</i>	68
26. Grafik hubungan antara <i>volume fraction</i> dengan kuat tekan beton.....	72
27. Retak pada sampel kuat tekan beton tanpa kawat bendrat	73
28. Retak pada sampel kuat tekan beton kawat bendrat	73
29. Grafik hubungan <i>volume fraction</i> dengan kuat tarik belah beton	77
30. Retak pada sampel kuat tarik belah beton tanpa kawat bendrat	78
31. Retak pada sampel kuat tarik belah beton kawat bendrat	79
32. Grafik hubungan <i>volume fraction</i> dengan kuat lentur beton	81
33. Pembebanan pada analisis retak balok bertulang	84
34. Pengamatan retak pada balok bertulang	85

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia mengalami perkembangan yang begitu pesat, khususnya di bidang konstruksi. Konstruksi yang digunakan dalam suatu pembangunan infrastruktur harus memiliki kualitas bahan yang baik sehingga menghasilkan sebuah konstruksi yang kokoh. Untuk itu diperlukan suatu material konstruksi yang efektif dan efisien dalam penggunaannya terhadap suatu bangunan.

Seiring dengan pembangunan infrastruktur yang terus meningkat, maka perkembangan teknologi pada material bangunan juga ikut meningkat terutama pada konstruksi beton. Selain itu beton juga merupakan konstruksi yang sangat sering dipakai dalam pembangunan konstruksi di negara maju maupun negara berkembang.

Beton banyak digunakan di berbagai macam konstruksi karena memiliki banyak keunggulan diantaranya kemampuan menahan gaya tekan yang tinggi, dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, ketahanan yang baik terhadap lingkungan sekitar serta proses perawatannya lebih murah dan

mudah. Semakin meluasnya penggunaan konstruksi beton dan meningkatnya skala pembangunan maka kebutuhan akan teknologi beton yang efektif dan efisien juga semakin tinggi. Salah satu teknologi beton yang dikembangkan saat ini adalah beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi dapat diartikan sebagai beton yang memiliki nilai kuat tekan (f^c) lebih dari 41 MPa (Tjokrodinuljo, 2012). Secara struktural beton juga memiliki kelemahan yaitu kekuatan tarik yang rendah dan memiliki sifat getas.

Salah satu cara perbaikan dalam beton tersebut adalah dengan menambahkan serat fiber ke dalam adukan beton atau biasa disebut dengan beton fiber. Ada berbagai jenis serat yang digunakan dalam campuran beton yaitu baja (*steel*), kaca (*glass*), karbon (*carbon*), dan plastik (*polypropylene*). Selain itu fiber dari bahan yang didapat dari alam untuk keperluan non struktural 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 sebagai bahan tambahan pada beton mutu tinggi untuk struktur bangunan masih sangat jarang dipakai di Indonesia. Tetapi, serat baja sulit didapatkan karena harus didatangkan terlebih dahulu dari luar negeri sehingga memakan biaya dan waktu yang cukup besar. Suhendro (1991), telah menemukan bahan lokal yang lebih murah dan efisien dibandingkan serat baja yaitu potongan kawat bendrat diameter 1 mm dan panjang 60 mm.

Pada penelitian Ferdy Erwanda (2012), telah dilakukan penelitian dengan menambahkan serat galvanis pada beton ringan dengan persentase penambahan *volume fraction* (Vf) 0,3% : 0,75%, dan 1% dari volume beton. Pada penelitian ini didapat persentase optimum pada persentase penambahan Vf 1% dimana *volume fraction* (Vf) adalah persentase volume fiber yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. (Suhendro, 1990)

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka diperlukan penelitian di laboratorium mengenai pengaruh penambahan kawat bendrat terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton mutu tinggi dengan penambahan *volume fraction* yang sama.

B. Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap kapasitas kuat tekan dan kuat lentur supaya bagian struktur dapat menahan beban dari luar maupun beban sendiri.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mendapatkan data sifat fisik dari agregat penyusun beton seperti kadar air, berat jenis, berat volume, dan gradasi dari agregat kasar dan halus
2. Mengetahui data mekanik dari beton mutu tinggi seperti kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton pada umur 28 hari
3. Mengetahui pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap nilai kuat tekan
4. Mengetahui pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap nilai kuat tarik belah

5. Mengetahui pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap nilai kuat lentur

D. Batasan Masalah

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

1. Mutu beton ($f'c$) yang direncanakan adalah di atas 41 Mpa
2. Metode perencanaan (*mix design*) menggunakan metode SNI 03-2834-2000
3. Semen yang digunakan yaitu *Portland Composite Cement* (PCC) dari PT. Semen Padang.
4. Variabel dalam penelitian ini adalah persentase penambahan serat terhadap volume beton yaitu 0% ; 0,3% ; 0,7% ; 1%.

E. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat antara lain :

1. Mengoptimalkan pemanfaatan teknologi beton mutu tinggi berserat kawat bendrat dalam dunia teknologi konstruksi
2. Memberikan referensi mengenai pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur
3. Mengetahui kadar optimum serat kawat bendrat yang dipakai untuk penambahan pada campuran beton mutu tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2012), beton adalah bahan bangunan yang dibuat dari air, semen portland, agregat halus, dan agregat kasar yang bersifat keras seperti batuan. Beton mempunyai beberapa sifat yang sering dipakai yaitu :

1. Kekuatan

Beton mempunyai sifat getas (*brittle*) sehingga mempunyai kuat tekan yang tinggi tetapi kuat tarik rendah. Berdasarkan kuat tekannya, beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya

Jenis beton	Kuat tekan
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, 2012

2. Berat Jenis

Beton normal yang dibuat dengan agregat kasar dan halus mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat berkurang dari

2,0. Berat jenis beton dapat dilihat dari jenis-jenis beton seperti pada Tabel

2. Berat jenis beton menurut jenisnya.

Tabel 2. Berat jenis beton menurut 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 - 2,40	Struktur
Beton berat	> 3,00	perisai sinar X

Sumber : Tjokrodimuljo, 2012

3. Kerapatan Air

Beton rapat air (kedap air) ialah beton yang sangat padat sehingga air tidak dapat meresap ke dalamnya atau rembes melalui pori-pori dalam beton. Pembuatan beton kedap air menurut Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air, SNI-03-2941-1992) dapat diusahakan dengan cara :

- a) Menambah butiran pasir halus (yaitu semen dan pasir yang lebih kecil dari 0,30 mm) sampai sekitar 400 – 520 kg per meter kubik beton.
- b) Menambah jumlah semen sampai sekitar 280 – 380 kg per meter kubik beton.
- c) Faktor air semen maksimum 0,45 – 0,50 (tergantung kedap air tawar, atau kedap air payau / air laut)
- d) Memakai jenis semen portland tertentu (tergantung kedap air tawar, atau kedap air payau / air laut)

4. Modulus Elastisitas

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

$$E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c}; \text{ untuk } W_c = 1,5 - 2,5$$

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

Dengan :

E_c = Modulus elastisitas beton, MPa

W_c = Berat jenis beton

f'_c = kuat tekan beton, Mpa

B. Beton Serat (*Fiber Concrete*)

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan sejumlah fiber yang disebarkan secara acak dalam adukan. Ide dasar dari campuran beton serat adalah menulangi beton dengan fiber yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton, dengan orientasi *random* sehingga diharapkan dapat mengurangi retak rambut yang terjadi pada beton di daerah tarik baik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan.

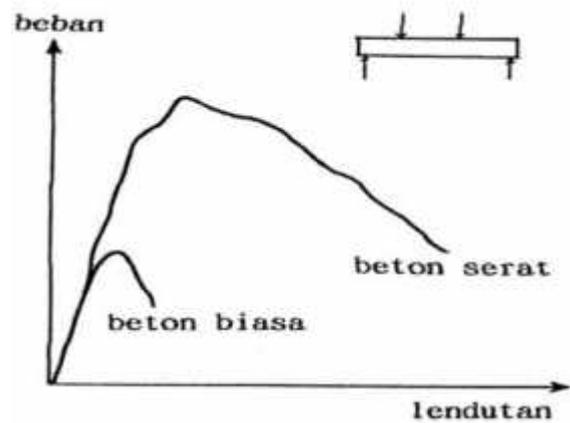
Setiap jenis fiber mempunyai kelebihan dan kekurangan, masing-masing tergantung dari tujuan pemakaiannya. Perbaikan yang dialami beton dengan adanya penambahan fiber antara lain :

1. Daktilitas

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

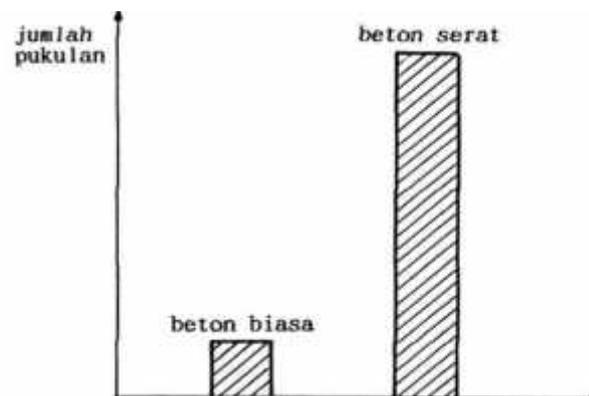
Salah satu kelemahan beton yang paling besar adalah kekuatan untuk menahan gaya tarik dan lentur. Sifat kuat tarik yang rendah pada beton dapat diperbaiki dengan penambahan serat ke dalam adukan beton dapat dilihat pada grafik fraktur beton dibawah ini.



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

3. Ketahanan kejut (*impact resistance*)

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



Gambar 2. Perbaikan ketahanan kejut beton serat (Soroushian & Bayasi,1987)

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life*)

Dengan adanya penambahan volume fraksi serat pada adukan beton ketahanan terhadap kelelahan dapat ditingkatkan, lebar retak dan lendutan yang terjadi akibat pembebanan kelelahan (*fatigue*) dapat diturunkan. Penggunaan beton serat dapat mereduksi tebal perkerasan beton biasa sampai 50% (ACI Comitte 544, 1982)

5. Penyusutan

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 penyusutan dapat direduksi dan retak-retak penyusutan dapat dibatasi.

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada beton serat baja yaitu :

1. Terjadi korosi pada serat jika tidak terlindung dengan baik oleh beton.
2. Masalah *workability* yang menyangkut kemudahan dalam proses pengerjaan. Penambahan serat baja ke dalam adukan beton akan menurunkan kelecakan. Makin tinggi volume fraksi dan *aspect ratio* serat ke dalam adukan beton maka kelecakan semakin menurun. (ACI Comitte 544, 1984)
3. Masalah *mix design* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kelecakan yang memadai untuk itu perlu diteliti
4. Terjadinya *balling effect* yaitu penggumpalan serat. Penggumpalan tersebut menyerupai bola dan tidak menyebar secara merata pada saat pencampuran sehingga perlu diusahakan cara penyebaran serat baja secara merata pada adukan

C. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini diperkirakan menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 2012). Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah atau agregat dapat juga diperoleh dengan cara memecah batuan induk yang lebih besar.

Mengingat bahwa agregat menempati 70% - 75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan, kuat, tahan lama (*durable*) dan ekonomis. Pengaruh dari agregat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh sifat agregat pada sifat beton

Sifat agregat	Pengaruh pada	Sifat beton
Bentuk, tekstur, dan gradasi	Beton cair	Kelecekan, pengikatan, dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, dan mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (<i>durability</i>)

Sumber : Nugraha, P dan Antoni, 2007

1. Agregat Kasar

Agregat kasar untuk campuran beton adalah agregat berupa kerikil (*split*) sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran 5 – 40 mm. Besar butiran maksimum yang diizinkan tergantung pada maksud pemakaian. Ukuran agregat sangat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Semakin besar agregat yang digunakan, semakin berkurang kekuatan beton hal ini disebabkan ruang antar agregat yang dihasilkan juga semakin besar

sehingga kemungkinan adanya rongga udara akan semakin tinggi dan menyebabkan kuat tekan yang kecil.

2. Agregat Halus

Agregat halus untuk beton adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 5 mm. Agregat halus memiliki fungsi mengisi pori-pori yang ada di antara agregat kasar, sehingga diharapkan dapat meminimalkan kandungan udara dalam beton yang dapat menurunkan kekuatan beton. Pada beton mutu tinggi harus memiliki susunan gradasi ukuran butiran yang dapat mengisi ruang kosong pada semen. Dengan pemilihan gradasi yang tepat akan diperoleh kepadatan per satuan volume.

D. Semen Portland

Menurut Standar Industri Indonesia, SII-0013-1981, semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum. Ada dua macam semen, yaitu semen hidraulis dan semen non-hidraulis. Semen non-hidraulis adalah semen (perekat) yang dapat mengeras tetapi tidak stabil dalam air. Semen hidraulis 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

Trikalsium Silikat (C_3S), Dikalsium Silikat (C_2A), Trikalسيوم Aluminat (C_3A) 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. ASTM (*American Standard for Testing Material*) menentukan komposisi semen berbagai tipe pada Tabel 4.

1. Tipe I adalah semen portland untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada tipe-tipe lainnya.
2. Tipe II adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
3. 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.
4. Tipe IV adalah semen portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. 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. Pengerasan berjalan lebih lambat daripada semen portland tipe I (Nugraha, P dan Antoni, 2007).

Tabel 4. Jenis-jenis semen portland dengan sifat-sifatnya

Tipe semen	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Kehalusan blaine (m ² /kg)	Kuat 1 hari (kg/cm ²)	Panas hidrasi (J/g)
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF			
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Sumber : Nugraha, P dan Antoni, 2007

Pengikatan (*set*) adalah perubahan bentuk dari cair menjadi bentuk yang padat, tetapi masih belum mempunyai kekuatan. Pengikatan semen terjadi akibat reaksi hidrasi yang terjadi pada permukaan butir semen, terutama butir trikalsium aluminat (Paul Nugraha Antoni, 2007). Dengan penambahan gypsum, waktu pengikatan dapat diatur karena gypsum memodifikasi pengerasan awal. Selain pengikatan semen juga mengalami pengerasan (*hardening*) adalah pertumbuhan kekuatan dari beton atau mortar setelah bentuknya menjadi padat.

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 umumnya waktu pengikatan awal minimum adalah 45 menit, sedangkan waktu pengikatan akhir adalah 6-10 jam.

Menurut SNI 15-7064-2004, PCC (*Portland Composite Cement*) adalah bahan pengikat hidraulis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silika, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari masa semen portland.

Semen jenis PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton yang lebih rapat dan halus. Semen PCC memiliki syarat kimia yaitu mengandung SO_3 lebih dari 4% dari komposisi total semen yang terkandung dalam beton. Bahan penyusun semen PCC yaitu 80% *klinker/terak*, 10% *pozzolan (trass)*, 6% *limestone*, dan 4% *gypsum*.

Semen PCC sering digunakan untuk 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.

E. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah. Untuk bereaksi dengan semen portland, air yang diperlukan hanya sekitar 25% - 30% dari berat semen. Air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Air harus bersih
2. Kandungan lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya tidak boleh lebih dari 2 gram/liter
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton lebih dari 15 gram/liter
4. Tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter

Kualitas beton akan berkurang jika air mengandung kotoran. Lumpur yang terdapat di dalam air diatas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu sebelum dipakai, dalam kolam pengendap (Tjokrodimuljo, 2012).

F. *Superplasticizer*

Superplasticizer adalah bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen, sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. *Superplasticizer* sangat meningkatkan kelecakan campuran dengan slump sebesar 7,5 cm akan menjadi 20 cm. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 30 % dari campuran awal. (Nugraha, P dan Antoni, 2007)

Beton mutu tinggi dapat dihasilkan dengan melakukan pengurangan kadar air, akibat pengurangan kadar air akan membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai

slump yang tinggi. Keistimewaan penggunaan *superplasticizer* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain :

1. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan *workability* tinggi.
2. Mengurangi kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit.
3. Tidak ada udara yang masuk. Dengan adanya penambahan 1% udara kedalam beton dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga *air content* di dalam beton serendah mungkin. Penggunaan *superplasticizer* menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara masuk ke dalam beton.
4. Mengurangi jumlah air dan menjaga kandungan semen dengan kemampuan kerjanya tetap sama serta menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah dengan kekuatan yang lebih besar.
5. Tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan.

Secara umum, partikel semen dalam air cenderung untuk berkoheisi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal. Dengan menambahkan *superplasticizer*, partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi. Dengan kata lain *superplasticizer* mempunyai dua fungsi yaitu, mendispersikan partikel semen dari gumpalan partikel dan mencegah kohesi antar semen. Fenomena dispersi partikel semen dengan

penambahan *superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen, sehingga pasta semen lebih fluida/alir. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian air dapat diturunkan dengan penambahan *superplasticizer*.

G. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki sifat khusus yang berbeda dengan beton normal, seperti tingkat susut (*shrinkage*) rendah, permeabilitas rendah, modulus elastisitas tinggi dan kuat tekan tinggi. Beton mutu tinggi memiliki kuat tekan 50 – 80 MPa. (Mulyono, 2004)

Menurut *American Concrete Institute (ACI) Committee*, beton mutu tinggi adalah beton yang memenuhi kombinasi kerja khusus sesuai dengan yang diinginkan dan tidak ditemui secara rutin pada beton konvensional, diantaranya :

1. Mudah pengerjaannya.
2. Berkekuatan tinggi di usia dini.
3. Kedap dan padat.
4. *Durable* terhadap lingkungan, kekerasan yang memadai.
5. Umur layan lebih lama (sekitar 75 tahun atau lebih).
6. Stabilitas volume yang memadai (minimum *shrinkage* atau ekspansi termal).
7. Kemampuan mengalir (*flowability*) dan *pumpability* yang memadai.
8. Panas hidrasi yang rendah.

H. Serat (Fiber)

Ber macam-macam serat direkomendasikan sebagai perkuatan beton, *ACI Committee 544* mengklasifikasikan tipe serat secara umum menjadi empat antara lain :

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

Serat 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 (Soroushian & Bayasi, 1987).

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

Serat karbon sebenarnya sangat potensial untuk memenuhi kebutuhan tarik yang tinggi dan kuat lentur yang tinggi. Serat karbon memiliki modulus elastisitas yang sama bahkan dua hingga tiga kali lebih besar dari baja, sangat ringan dengan berat jenis 1,9. Namun penyebaran serat karbon dalam matrik semen lebih sulit dibandingkan dengan serat lainnya.

Konsep penggunaan serat baja pada adukan beton belum banyak dikenal di Indonesia. Salah satu penyebabnya adalah tidak tersedianya serat baja di dalam negeri sehingga alternatifnya digunakan bahan lokal yaitu kawat yang dipotong-potong.

Tabel 5. Jenis-jenis fiber dan spesifikasinya

<i>Fiber Types</i>	<i>Specific gravity</i>	<i>Tensile Strength (Ksi)</i>	<i>Young's Modulus 10³ Ksi (%)</i>	<i>Elangition at failure (%)</i>	<i>Common Diametr es (inch)</i>	<i>Common Length (inch)</i>
1	2	3	4	5	6	7
Steel	7,86	100 – 300	30	Up to 30	0,0005 – 0,04	0,5 – 1,5
Glass	2,7	Up to 180	11	3,5	0,004 – 0,03	0,5 – 1,5
Polypropylene	0,91	Up to 100	0,14 – 1,2	2,5	Up to 0,1	0,5 – 1,5
Carbon	1,6	Up to 100	7,2	1,4	0,0004 – 0,0008	0,02 – 1,5

Sumber : Soroushian & Bayasi, 1987

I. Bahan Tambah Serat Kawat Galvanis

Penambahan serat kawat ke dalam adukan beton dipengaruhi hal-hal sebagai berikut :

1. Jenis (ukuran dan bentuk) serat

Sebenarnya semua jenis serat dapat digunakan sebagai bahan tambahan yang dapat memperkuat atau memperbaiki sifat-sifat beton. Penggunaan serat tergantung dari kebutuhan penambahannya, yaitu pada beton alami atau buatan. Tetapi yang harus diperhatikan adalah ketahanan serat tersebut terhadap alkali.

Tabel 6. Spesifikasi fiber untuk jenis kawat galvanis

No	Jenis Kawat	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan saat putus (%)	Specific gravity
1	Kawat Baja	2300	10,5	7,77
2	Kawat Bendrat	385	5,5	6,68
3	Kawat Biasa	250	30	7,70

Sumber : Suhendro, 1991

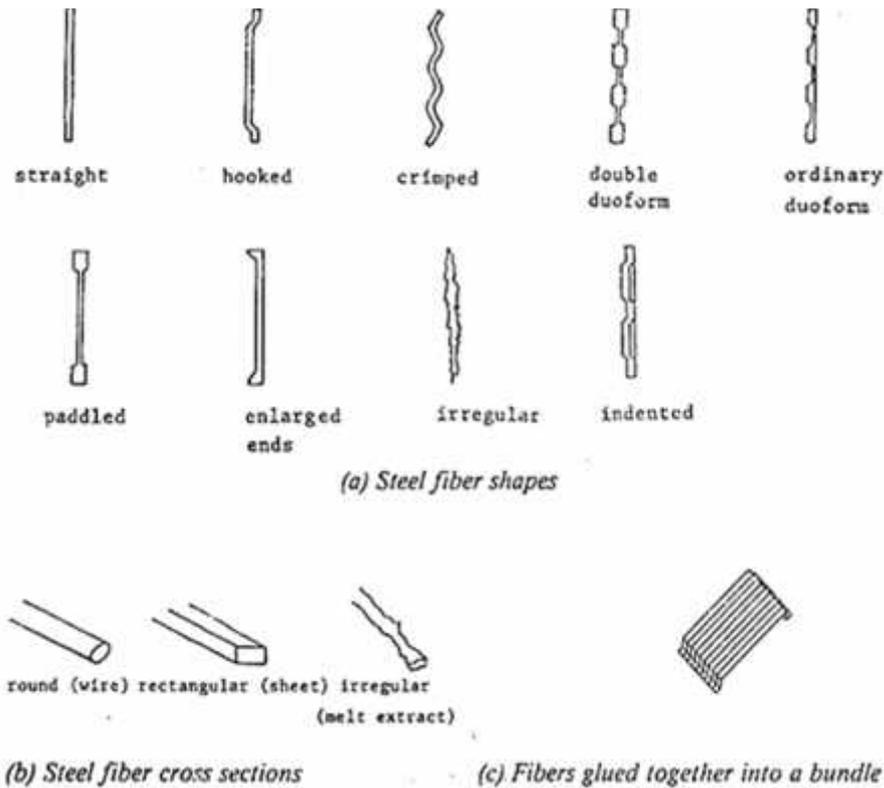
2. Aspek rasio serat

Makin panjang serat makin besar pengaruhnya dalam perbaikan sifat-sifat serat (ACI Commite 544, 1988). Demikian juga makin besar luas permukaan serat maka makin efektif lekatan serat tersebut. Dengan kata lain makin tinggi *aspect ratio* serat maka semakin tinggi efisiensi serat tersebut.

Tetapi banyak penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa penggunaan serat dengan *aspect ratio* yang lebih besar dari 100 biasanya menyebabkan kelecakan yang tidak baik dalam campuran beton dan distribusi serat yang tidak merata. Lebih praktis bila menggunakan serat dengan *aspect ratio* kurang dari 100.

3. Persentase serat (*volume fraction*)

Persentase penambahan serat ke dalam beton sebesar 0%; 0,3%; 0,7% dan 1% ditentukan berdasarkan penelitian terdahulu. Penambahan serat yang terlalu berlebihan akan mengakibatkan penggumpalan yang akan menghalangi penyebaran serat secara merata ke seluruh beton. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini prosentase serat kawat galvanis yang ditambahkan maksimal 1% dari volume beton. (Ferdy Erwanda,2012)



Gambar 3. Berbagai bentuk geometri serat baja (Soroushin & Bayasi. 1991)

J. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 1974:2011). Dalam pengujian kuat tekan beton, benda uji dapat berupa kubus dan silinder. Kuat tekan beton ditentukan oleh proporsi bahan yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan aditif sebagai komponen pembentuk beton.

Kuat tekan beton merupakan sifat yang paling penting dari beton. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat yang lain juga baik. Menurut ASTM C 39 kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus :

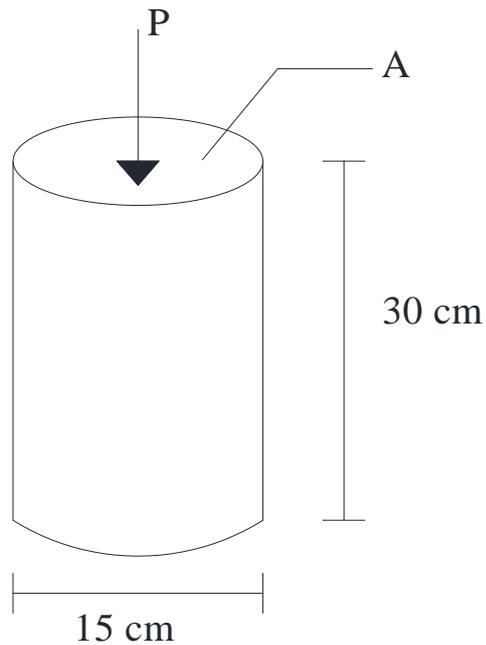
$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

P = Kuat tekan beton (MPa)

F = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang tertekan (mm²)



Gambar 4. Uji Kuat Tekan Beton

Wafa dan Hasnat (1992) mengusulkan persamaan untuk memprediksi kuat tekan beton fiber sebagai berikut :

$$f'_{cf} = f'_c + 2,23 V_f \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

f'_{cf} = kuat tekan beton fiber (MPa)

f'_c = kuat tekan beton tanpa fiber (MPa)

V_f = Volume fraksi fiber (%)

K. Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton/beton fiber dilakukan dengan memberikan tegangan tarik pada beton secara tidak langsung. Spesimen silinder direbahkan dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada beton. Uji ini disebut juga *splitting test* atau *brazillian test*. Kekuatan tarik belah dapat dihitung menggunakan rumus :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

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

Ada beberapa usulan persamaan yang telah dikembangkan untuk memprediksi kuat tarik/lentur ultimit untuk beton fiber

1. Usulan Swamy et al. (1974)

Persamaan ini dikembangkan berdasarkan teori derivatif dengan koefisien – koefisien diperoleh dari analisis regresi data percobaan.

Untuk kuat retak pertama :

$$\sigma_{cf} = 0,843 \sigma_m (1 - V_f) + 2,93 V_f \frac{l_f}{d_f} \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk kuat tarik/ lentur ultimit

$$\sigma_{uf} = 0,97 \sigma_m (1 - V_f) + 3,41 V_f \frac{l_f}{d_f} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

σ_{cf} = Kuat tarik pertama beton fiber (MPa)
 σ_{uf} = Kuat tarik/ lentur ultimit beton fiber (MPa)
 σ_m = Kuat tarik beton tanpa serat (MPa)
 V_f = Fraksi volume fiber (%)
 l_f/d_f = *Fiber aspect ratio*

2. Usulan Narayanan & Darwish (1988)

Persamaan ini didasarkan ada analisis regresi data percobaan, diusulkan untuk model kuat tarik belah silinder beton fiber yang diberikan sebagai berikut :

$$f_{spf} = \frac{f_{cuf}}{A} + B + C\sqrt{F} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

f_{spf} = Kuat tarik belah silinder beton fiber (MPa)

f_{cuf} = Kuat tekan kubus beton fiber (MPa)

A = Tetapan non dimensi yang bernilai (20 - \sqrt{F})

B = Tetapan yang bernilai 0,7 MPa

C = Tetapan yang bernilai 1,0 MPa

F = Fiber faktor, $F = (l_f/d_f) V_f$

= Faktor lekatan fiber-beton, ditetapkan nilai relatif 0,5 untuk berpenampang bundar, 0,75 untuk fiber *crimped* atau *hooked*, dan 1,0 untuk fiber *indented*

3. Usulan Wafa dan Ashour (1992)

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

$$f'_{spf} = f'_{sp} + 3,02 V_f \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

f_{spf} = Kuat tarik beton fiber (MPa)

f_{sp} = Kuat tarik beton tanpa fiber (MPa)

V_f = Volume fraksi fiber (%)

4. Usulan Wafa, Hasnat dan Taraboisi (1992)

Persamaan ini didasarkan atas hasil percobaan. Persamaan tersebut adalah :

$$f'_{spf} = f'_{sp} + 1,8 V_f \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

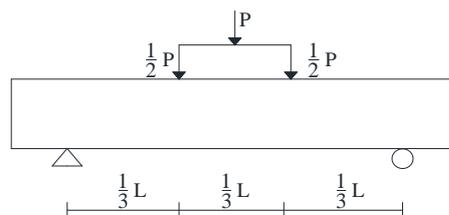
f_{spf} = Kuat tarik beton fiber (MPa)
 f_{sp} = Kuat tarik beton tanpa fiber (MPa)
 V_f = Volume fraksi fiber (%)

L. Kuat Lentur Beton

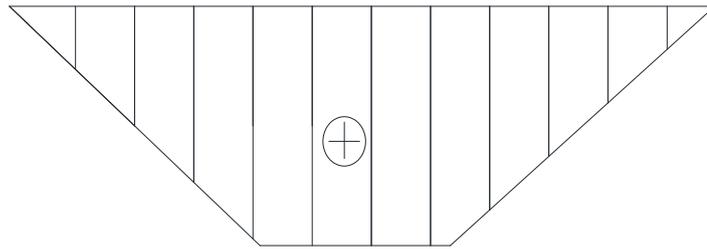
Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah (SNI 4431:2011). Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi lentur di dalam balok tersebut.

Kuat lentur dapat diteliti dengan membebani balok pada tengah-tengah bentang atau pada setiap sepertiga bentang dengan beban titik $\frac{1}{2} P$. Beban ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi terletak pada sekitar tengah-tengah bentang.

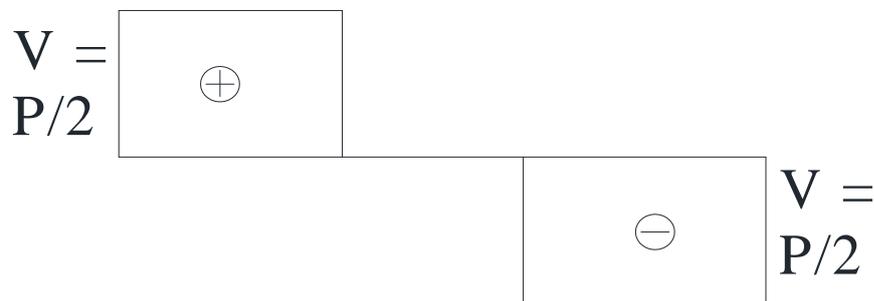
Secara sederhana, balok beton digambarkan sebagai struktur *simple beam* dengan beban terpusat masing-masing $\frac{1}{2} P$. Besarnya momen yang dapat mematahkan benda uji adalah momen akibat beban maksimum dari mesin pembebanan dan berat sendiri dari benda uji. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang.



Gambar 5. Balok sederhana yang dibebani gaya $P/2$



Gambar 6. Diagram Momen Lentur



Gambar 7. Diagram Gaya Lintang

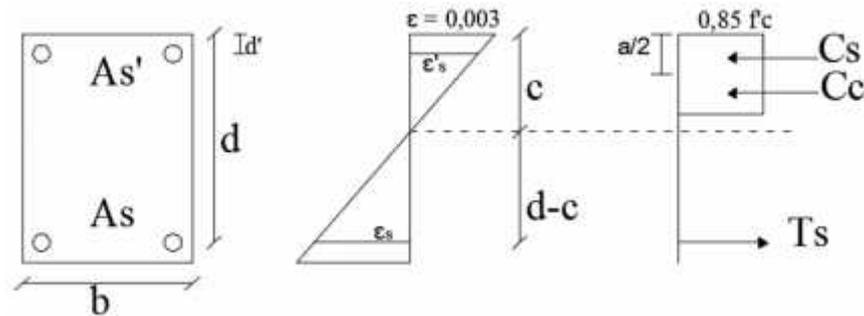
M. Kekuatan Momen Lentur Penampang Persegi Balok Beton Bertulang

1. Kekuatan momen lentur beton

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

- Kekuatan unsur didasarkan pada hitungan yang memenuhi syarat keseimbangan dan kompatibilitas regangan.
- Regangan di dalam baja tulangan dan beton dimisalkan berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral.
- Regangan maksimum yang dapat dipakai pada serat tekan sebesar 0,003
- Kekuatan tarik beton diabaikan

e) Modulus elastis baja diambil sebesar 2.10^5 MPa



Gambar 8. Dsitribusi regangan dan tegangan lentur balok beton normal bertulang (SK SNI T-15-1991-03)

Gaya – gaya dalam adalah :

$$C = 0,85 f'c.a.b \dots\dots\dots (2.9)$$

$$T = As.fy \dots\dots\dots(2.10)$$

Keseimbangan, $C = T$ sehingga

$$a = \frac{As.fy}{0,85 f'c b} \dots\dots\dots (2.11)$$

Letak garis netral adalah

$$c = \frac{a}{\beta} \dots\dots\dots (2.12)$$

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

$$s = \frac{d-c}{c} (0,003) \dots\dots\dots(2.13)$$

$$y = \frac{fy}{Es} \dots\dots\dots (2.14)$$

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

Kekuatan lentur nominal adalah

$$Mn = C (d - 0,5a) \dots\dots\dots(2.15)$$

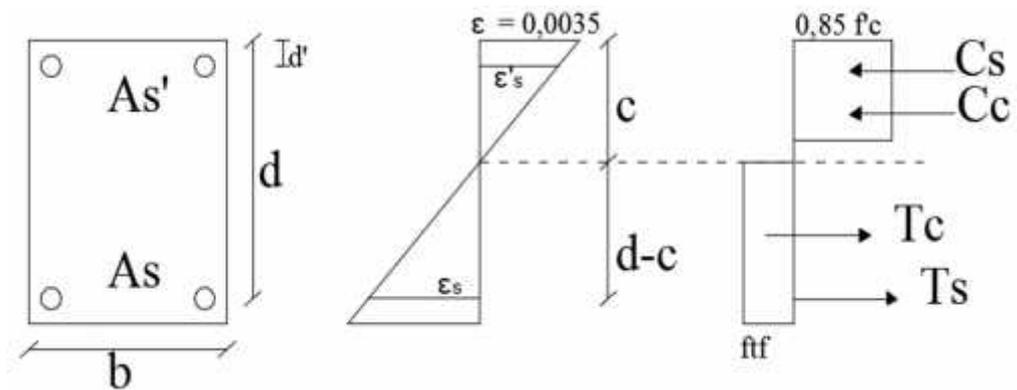
Atau

$$M_n = T (d - 0,5a) \dots\dots\dots(2.16)$$

2. Kekuatan momen lentur balok beton bertulang yang diberi fiber

Pada analisa balok beton serat, kekuatan tarik beton serat diperhitungkan sebagai penambahan kontribusi pada tulangan tarik untuk memperoleh momen ultimit. Balok direncanakan sedemikian rupa sehingga semua materialnya (beton dan baja tulangan) mencapai kapasitasnya sebelum runtuh. Dalam perkembangannya, beberapa peneliti mengemukakan tentang perencanaan dalam beton fiber bertulang.

a) Usulan Henager dan Doherty (1976)



Gambar 9. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber. (Henager & Doherty,1976)

Usulan persamaan yang diberikan adalah sebagai berikut :

Kekuatan momen lentur nominal

$$M_n = T_s (d - c) + \frac{T_{cf}(h-c)}{2} + C_c \left(c - \frac{a}{2} \right) + C_s (c - d') \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan :

M_n = Kekuatan momen lentur murni (Nmm)

T_s = Gaya tarik dari baja (N)

d = Tinggi efektif balok (mm)

c = Jarak garik netral ke serat terluar bagian tekan (mm)

T_{cf} = Gaya tarik dari beton fiber (Nmm)

- h = Tinggi total balok (mm)
- C_c = Resultan gaya tekan dari beton fiber (N)
- C_s = Resultan gaya tarik dari baja daerah tekan (N)
- A_s = luas baja tulangan (mm^2)
- f'_{cf} = Kuat tekan beton fiber (MPa)
- ftf = Kuat tarik beton fiber (MPa)

Gaya – gaya dalam adalah :

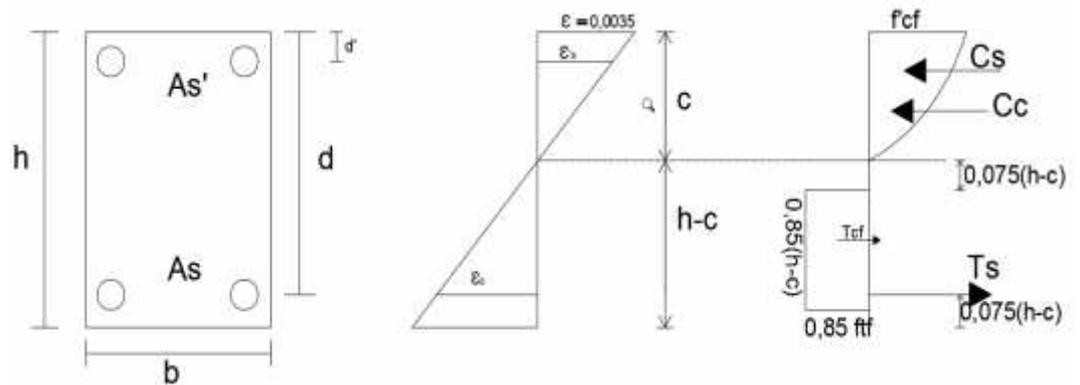
$$C_c = 0,85 \cdot f'_{cf} \cdot c \cdot b \dots\dots\dots(2.18)$$

$$C_s = A's.fy \dots\dots\dots(2.19)$$

$$T_{cf} = ftf \cdot (h - c) \cdot b \dots\dots\dots(2.20)$$

$$T_s = A_s.fy \dots\dots\dots(2.21)$$

b) Usulan Suhendro (1991)



Gambar 10. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber. (Suhendro,1991)

Kekuatan momen lentur nominal :

$$M_n = T_s (d - c) + \frac{T_{cf}(h-c)}{2} + C_c \cdot \frac{5}{8} \cdot c + C_s (c - d') \dots\dots\dots(2.22)$$

Gaya – gaya dalam adalah :

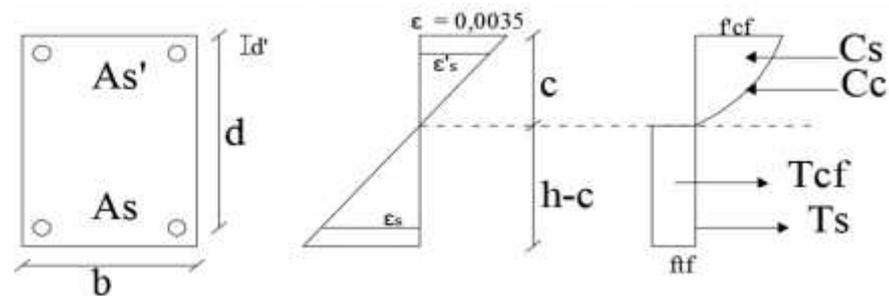
$$C_c = 0,67 f'_{cf} \cdot c \cdot b \dots\dots\dots(2.23)$$

$$C_s = A's.fy \dots\dots\dots(2.24)$$

$$T_{cf} = 0,85 \cdot ftf \cdot 0,85 (h - c) \cdot b \dots\dots\dots(2.25)$$

$$T_s = A_s.fy \dots\dots\dots(2.26)$$

c) Usulan Swamy dan Al – Ta'an (1981)



Gambar 11. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber. (Swamy & Al – Ta'an,1981)

$$Mn = Ts (d - c) + \frac{Tcf(h-c)}{2} + Cc \cdot 0,625 c + Cs (c - d') \dots\dots\dots(2.27)$$

Gaya – gaya dalam adalah :

$$Cc = 0,67 \cdot f'cf \cdot c \cdot b \dots\dots\dots(2.28)$$

$$Cs = A's \cdot fy \dots\dots\dots(2.29)$$

$$Tcf = ftf \cdot (h - c) \cdot b \dots\dots\dots(2.30)$$

$$Ts = As \cdot fy \dots\dots\dots(2.31)$$

N. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu Wibowo (2006), telah melakukan pengujian pada balok beton ringan dengan menambahkan konsentrasi serat bendrat lurus panjang 50 mm dan diameter 1 mm ke dalam adukan beton dengan variasi serat 0% ; 0,3% ; 0,75% ; 1% yang dilakukan dengan metode *Dreux Corrise*. Hasil pengujian kuat lentur balok dengan variasi penambahan serat tersebut terjadi peningkatan kekuatan optimum sebesar 45,6% pada konsentrasi serat 0,75%.

Elikon Endang Irawan (2011), telah melakukan penelitian pada beton ringan dengan penambahan serat fiber kawat galvanum. Dari penelitiannya tersebut didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. penambahan serat baja ke dalam adukan beton tidak terlalu berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton tetapi dapat meningkatkan kemampuan menyerap energi untuk menahan beban yang bekerja dan mengubah beton yang getas menjadi lebih daktail. Pada penelitian ini diperoleh kuat tekan optimum pada $V_f = 1\%$ dengan peningkatan kuat tekan sebesar 15,89 % dari kuat tekan beton tanpa serat.
2. Kuat tarik beton meningkat seiring dengan meningkatnya volume fraksi serat (V_f) yang ditambahkan pada adukan beton hingga pada kondisi maksimum. Pada penelitian ini peningkatan kuat tarik maksimum terjadi pada $V_f = 1\%$ sebesar 61,91% dari kuat tarik beton tanpa serat
3. Kuat lentur beton meningkat seiring dengan meningkatnya volume fraksi serat yang ditambahkan ke dalam beton. Presentase peningkatan kuat lentur maksimum dalam penelitian ini terjadi pada volume fraksi 1 % sebesar 58,32 % dari beton tanpa serat.

Ferdy Erwanda (2012), telah melakukan penelitian dengan tujuan memprediksi kapasitas balok beton ringan berserat galvanum bertulang. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan serat galvanis pada beton ringan mempengaruhi kelecakan dari beton. Nilai *slump* beton menurun seiring dengan penambahan serat galvanis 0,3% ; 0,75% ; dan 1% dari volume beton, yaitu berturut-turut sebesar 8 cm, 6 cm, dan 3 cm dibandingkan beton tanpa serat yang memiliki nilai *slump* 11 cm.

Selain itu penambahan serat tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat tekan beton dimana kuat tekan maksimum didapat pada *volume fraction* 1% dengan peningkatan kuat tekan beton sebesar 5,88 % dari kuat tekan beton tanpa serat. Pengaruh besar terjadi pada penambahan kuat tarik dan kuat lentur dimana peningkatan kuat tarik belah dan lentur beton terjadi dengan *volume fraction* 1% kuat tarik belah 44,34 % dan kuat lentur 58,32 %.

III. METODE PENELITIAN

A. Umum

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Benda uji yang dipakai berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 24 buah serta benda uji balok beton dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm sebanyak 12 buah. Sedangkan pengujian beton mutu tinggi dilakukan setelah semua benda uji berumur 28 hari.

B. Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Semen

Semen berfungsi sebagai sebagai pengikat butiran agregat sehingga terbentuk massa yang padat. Pada penelitian ini digunakan semen PCC dengan merk dagang Semen Padang, yang didapatkan dari toko bangunan yang berlokasi di Bandar Lampung dengan satuan 50 kg/zak.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, kadar lumpur, kandungan zat organik dan berat volume yang

sesuai dengan syarat yang ditetapkan oleh ASTM. Agregat halus yang digunakan berasal dari daerah Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3. Agregat Kasar

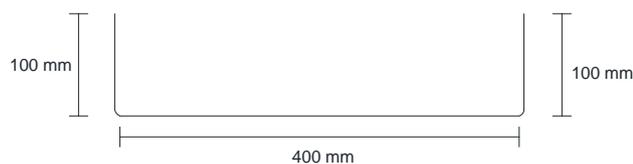
Agregat kasar terlebih dahulu dilakukan uji bahan terhadap kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, dan berat volume agregat yang sesuai dengan syarat yang ditetapkan oleh ASTM. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Tanjung, Lampung Selatan yang merupakan batu pecah hasil produksi dari alat *stone crusher*.

4. Air

Air yang digunakan adalah air bersih yang tidak mengandung lumpur, minyak dan benda-benda merusak lainnya yang dapat dilihat secara visual serta tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton. Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari laboratorium bahan dan konstruksi universitas lampung.

5. Serat

Serat yang digunakan yaitu kawat bendrat memiliki diameter 1 mm dan panjang 60 mm berkait di kedua ujungnya.



Gambar 12. Bentuk serat kawat bendrat penelitian

6. 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*. Penggunaan *superplasticizer* dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan *bleeding*. *Superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen, sehingga pasta semen lebih alir. Hal tersebut menunjukkan penggunaan air dapat diturunkan dengan penambahan *superplasticizer*. *Superplasticizer* yang digunakan adalah tipe F 7055 dengan merk dagang *Naphtha Blide* dosis 0,8 – 2 %.

C. Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Cetakan

Alat ini digunakan untuk mencetak beton dengan bentuk silinder dan balok

2. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat masing-masing bahan penyusun beton sesuai dengan komposisi yang direncanakan. Timbangan yang digunakan yaitu timbangan digital dengan kapasitas 10 kg digunakan untuk menimbang air dan *superplasticizer* dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 150 kg digunakan untuk menimbang agregat halus, agregat kasar dan semen dengan ketelitian 1 gram.

3. Satu set saringan

Peralatan 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 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 yang digunakan untuk pengujian gradasi agregat halus dan agregat kasar.

4. Oven

Alat ini digunakan untuk mengeringkan agregat kasar dan agregat halus pada saat akan dilakukan pengujian material. Oven yang digunakan mempunyai kapasitas suhu maksimum 210° C dengan daya sebesar 110 Watt.

5. Botol *La Chatelier*

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

6. Piknometer

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

7. Alat Vicat

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

8. Mesin Pengaduk Beton (*Concrete Mixer*)

Mesin pengaduk beton yang digunakan memiliki kapasitas 0,125 m³ dengan kecepatan 20-30 putaran per menit. Alat tersebut berfungsi untuk mengaduk campuran beton.

9. *Slump Test Apparatus*

Kerucut Abrams digunakan beserta tilam pelat baja dan tongkat besi untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan beton dengan uji *slump*. Ukuran kerucut Abrams memiliki diameter bagian bawah 200 mm, diameter bagian atas 100 mm, dan tinggi 300 mm.

10. *VB-Test Apparatus*

Alat ini terdiri dari kerucut Abrams yang diletakkan di dalam kontainer dan ditempatkan di atas meja getar. Alat ini berfungsi untuk mengukur kelecakan adukan beton fiber.

11. Mesin Penggetar Internal (*Vibrator*)

Alat ini digunakan sebagai pemadat beton segar yang telah dimasukkan ke dalam cetakan benda uji. Tujuannya untuk menghilangkan rongga-rongga udara sehingga kerekatan antara bahan penyusun beton semakin maksimal.

12. *Microcracks Microscope*

Alat ini digunakan untuk mengetahui retak halus pada balok beton dengan ketelitian 0,001 mm

13. *Compressing Testing Machine (CTM)*

CTM merupakan alat yang digunakan untuk melakukan uji kuat tekan pada beton yang berbentuk silinder. CTM yang digunakan berkapasitas beban maksimum 1500 kN dengan ketelitian 0,5 kN serta kecepatan pembebanan sebesar 0,14 – 0,34 MPa/det.

14. Flexural Testing Machine (FTM)

Flexural Testing Machine menghasilkan beban dengan kecepatan kontinu dalam satu kali gerakan tanpa menimbulkan efek kejutan dan mempunyai ketelitian pembacaan maksimum 1 kN.

15. Pemotong Kawat

Alat ini digunakan untuk memotong kawat bendrat sebagai bahan tambah fiber pada adukan beton. Pada penelitian ini alat yang digunakan berupa gerinda dan tang kawat.

16. Bak Perendam

Bak perendam digunakan sebagai tempat perawatan beton dengan cara perendaman.

17. Alat Bantu

Dalam proses pembuatan benda uji diperlukan beberapa alat bantu diantaranya adalah gelas ukur, mistar, ember, alat tulis, sendok semen, sekop, *rolley* dorong serta kontainer.

D. Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini meliputi beberapa tahap sebagai berikut :

1. Persiapan Bahan

Sebelum dilakukan pembuatan sampel, terlebih dahulu seluruh bahan dan peralatan yang akan digunakan diperiksa agar penelitian berjalan dengan baik. Semua bahan yang diperlukan dalam penelitian ini dipersiapkan. Mulai dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan.

2. Pengujian bahan penyusun beton

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap bahan yang digunakan. Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui apakah bahan tersebut memenuhi syarat atau tidak bila digunakan sebagai rencana campuran adukan beton mutu tinggi. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

a. Pengujian agregat halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus yaitu :

- 1) Kadar air agregat halus (ASTM C 566-78)
- 2) Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C 128-98)
- 3) Gradasi agregat halus (ASTM C 33-93)
- 4) Kadar lumpur agregat halus dengan saringan (ASTM 117-80)
- 5) Kandungan zat organik dalam pasir (ASTM C 40-92)
- 6) Berat volume agregat halus (ASTM C 29)

b. Pengujian agregat kasar

- 1) Kadar air agregat kasar (ASTM C 556-78)
- 2) Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (ASTM C 127-88)
- 3) Gradasi agregat kasar (ASTM C 33-93)
- 4) Berat volume agregat kasar (ASTM C 29)
- 5) *Lost angeles test* (ASTM C 131-03)

c. Pengujian semen

- 1) Berat jenis semen (ASTM C 188-95)
- 2) Waktu pengikatan semen (ASTM C 191-04)

3. Perencanaan campuran (*mix design*)

Rencana campuran antara semen, air, dan agregat-agregat sangat penting untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan. Pada penelitian ini komposisi perancangan campuran beton (*mix design*) mengacu pada aturan SNI 03-2834-2000. Beton mutu tinggi menggunakan perencanaan kuat tekan sebesar 55 MPa dengan menggunakan *Portland Composite Cement* (PCC). Langkah-langkah pembuatan rencana campuran beton menggunakan aturan SNI adalah sebagai berikut :

a. Penentuan Kuat Tekan Beton

Penentuan kuat tekan beton berdasarkan kekuatan beton pada umur 28 hari. Pada penelitian ini, direncanakan beton dengan mutu f_c 55 MPa.

b. Penetapan nilai deviasi standar (s)

Penetapan deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton dan besarnya jumlah volume campuran beton yang akan dibuat. Semakin kecil nilai deviasi, maka pengendalian pelaksanaan pencampuran semakin baik. Penetapan nilai deviasi standar (s) ini berdasarkan tabel 7.

Tabel 7. Mutu pelaksanaan, volume, adukan dan deviasi standar

Volume pekerjaan		Deviasi Standar (MPa)		
Sebutan	volume beton (m^3)	Mutu Pekerjaan		
		baik sekali	baik	dapat diterima
Kecil	<1000	$4.5 < s \leq 5.5$	$5.5 < s \leq 6.5$	$6.5 < s \leq 8.5$
Sedang	1000-3000	$3.5 < s \leq 4.5$	$4.5 < s \leq 5.5$	$5.5 < s \leq 7.5$
Besar	>3000	$2.5 < s \leq 3.5$	$3.5 < s \leq 4.5$	$4.5 < s \leq 6.5$

c. Penetapan kuat tekan yang direncanakan

Kuat tekan beton rata-rata perencanaan dihitung menggunakan formula seperti dibawah ini :

$$f_{bm} = f_{bk} + M$$

dengan :

$$f_{bm} = \text{kuat tekan beton rata-rata (MPa)}$$

$$f_{bk} = \text{kuat tekan beton rencana (MPa)}$$

$$M = \text{nilai tambah margin (MPa)}$$

Nilai tambah margin dapat dihitung menggunakan formula yang disajikan seperti dibawah ini :

$$M = k \times s$$

Dengan :

$$k = \text{konstanta yang besarnya 1,64}$$

$$s = \text{standar deviasi (MPa)}$$

d. Penetapan faktor air semen

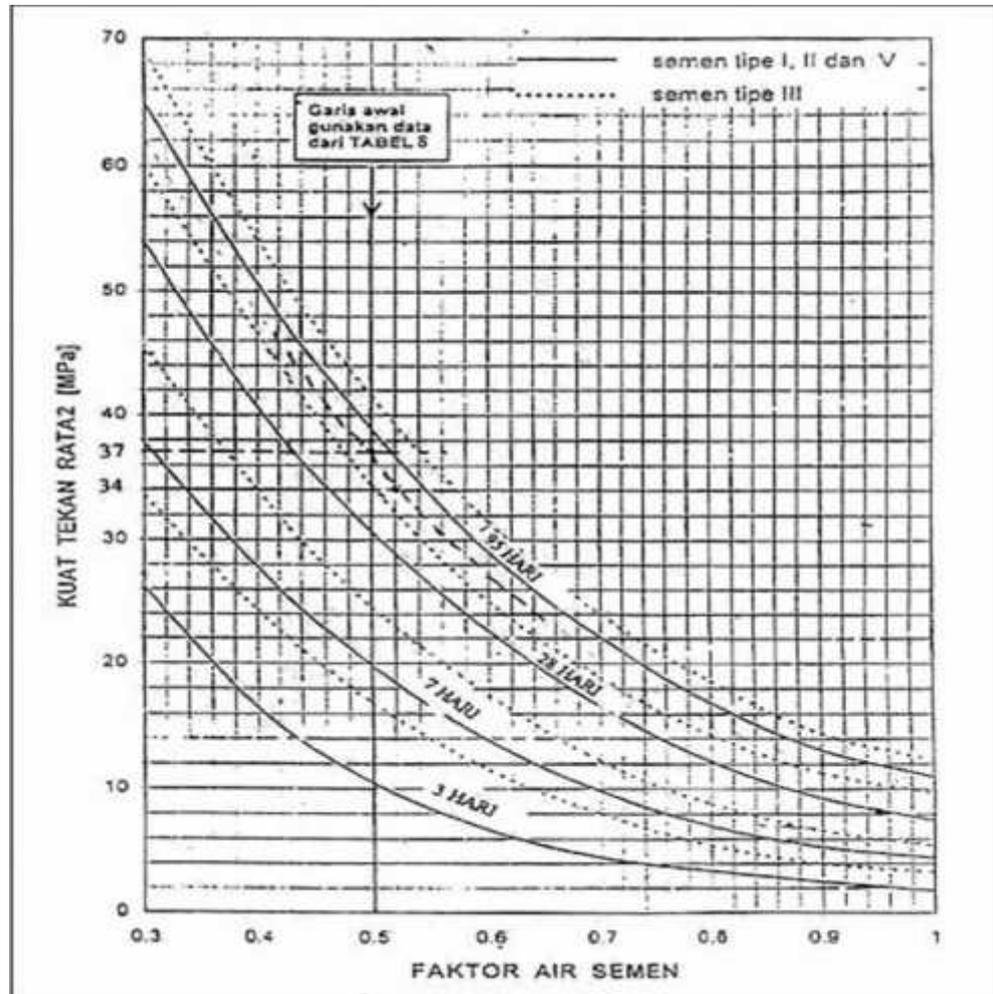
d. Penetapan faktor air semen

Faktor air semen dapat ditentukan menggunakan tabel.8 Dan grafik hubungan antara faktor air semen dengan kuat tekan silinder beton.

Caranya adalah sebagai berikut :

- (1) Dengan menggunakan tabel 8, tentukan kekuatan beton pada umur tertentu
- (2) Dengan menggunakan grafik. Gambarkan kurva melalui titik nilai kekuatan tersebut paralel dengan kurva referensi.

- (3) Tarik garis mendatar melalui kuat tekan yang direncanakan sampai memotong kurva dan tarik tarik garis vertikal untuk mendapatkan faktor air semen.



Gambar 13. Grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan fas

Tabel 8. Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat tekan pada umur (hari)				Bentuk benda uji
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	23	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Tabel 9. Persyaratan jumlah semen minimum dan fas maksimum

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen minimum m ³ beton (kg)	nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0.60
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0.52
Beton di luar ruang bangunan :		
a. tidak terlindung oleh hujan dan terik matahari langsung	325	0.60
b. terlindung oleh hujan dan terik matahari langsung	275	0.60
Beton yang masuk ke dalam tanah :		
a. mengalami keadaan basah-kering berganti-ganti	325	0.55 Lihat tabel 10
b. mendapat pengaruh sifat dan alkali dari tanah	375	
Beton yang kontinyu berhubungan :		
a. Air tawar	275	Lihat tabel 11
b. Air laut	375	

Tabel 10. Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah bersulfat

Kadar gangguan sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (Kg/M ³)			Factor air semen
	Dalam tanah		Sulfat (SO ₃) Dalam air Tanah g/l		40 mm	20 mm	10 mm	
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2: 1 g/l						
1	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	80	300	350	0,50
2	0,2-0,5	1,0-1,9	0,3-1,2	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe 1 Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0,55
				Tip ell atau Tipe V	250	290	340	0,55

3	0,5-1	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0,45
				Tip ell atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tip ell atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tip ell atau Tipe V Lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Tabel 11. Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air

Jenis beton	Kondisi lingkungan yang berhubungan dengan	Faktor air maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m^3)	
				Ukuran nominal Maksimum agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra tegang	Air tawar	0,50	Tipe-V Tipe I + Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan Tipe II atau Tipe V Tipe II atau Tipe V	280	300
	Air payau	0,45			
	Air laut	0,50 0,45			

e. Penentuan nilai slump

Penentuan nilai *slump* adukan beton berdasarkan pada pemakaian beton untuk konstruksi tertentu serta ukuran agregat maksimum yang digunakan dalam pencampuran beton seperti yang terdapat pada Tabel 12.

Tabel 12. Penetapan nilai *slump* adukan beton

Pemakaian Beton	Slump (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, Pelat Pondasi dan Pondasi Telapak Bertulang	12,5	5,0
Pondasi Telapak tidak bertulang, kaisan dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, Balok, Kolom dan Dinding	15,0	7,5
Perkerasan Jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

f. Penentuan nilai kadar air bebas

Nilai kadar air bebas ditentukan berdasarkan jenis agregat kasar yang digunakan serta ukuran maksimum agregat kasar pada pencampuran beton seperti pada Tabel 13.

Tabel 13. Perkiraan kebutuhan air dalam 1 m³ beton

Ukuran maks. Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

g. Perhitungan jumlah semen yang dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen ditentukan dengan rumus berikut :

$$\text{Jumlah semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{fas}$$

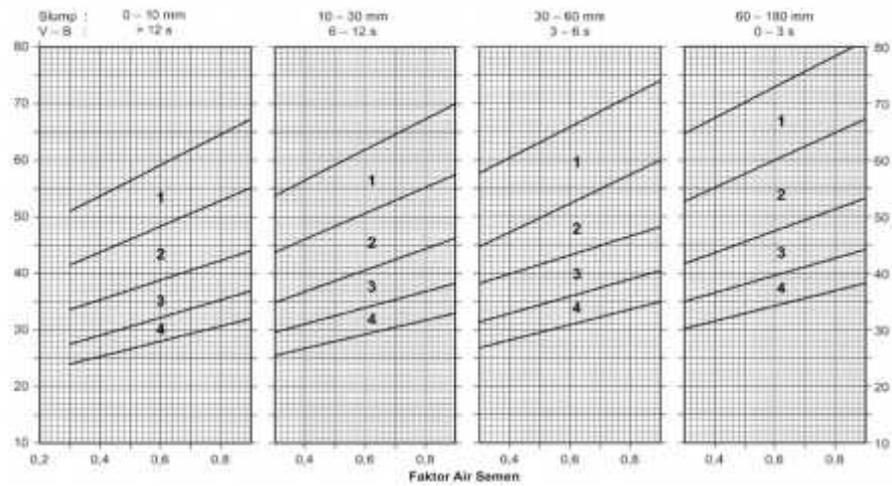
h. Penentuan persentase jumlah agregat halus

Dalam penentuan jumlah agregat halus digunakan grafik yang diperoleh dari analisis saringan agar dapat menentukan berada di zona mana agregat halus tersebut. Penentuan daerah gradasi agregat halus dapat digunakan tabel 14.

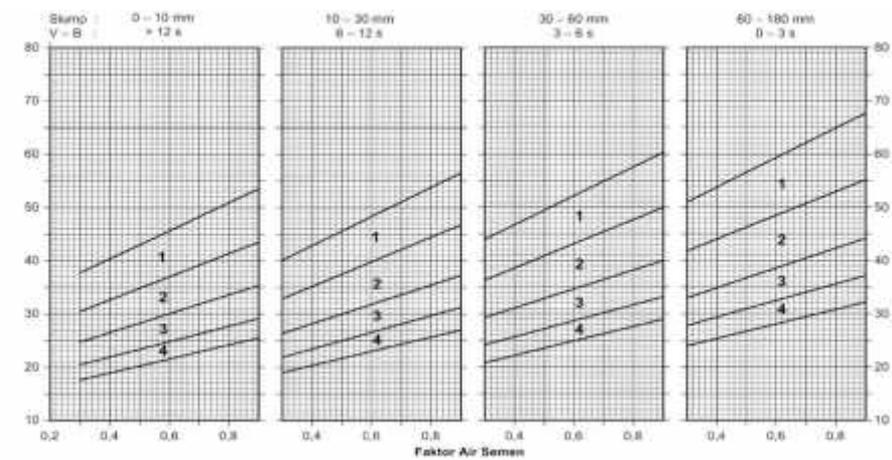
Tabel 14. Batas – batas gradasi agregat halus

Ukuran saringan (mm)	Prosentase lolos saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

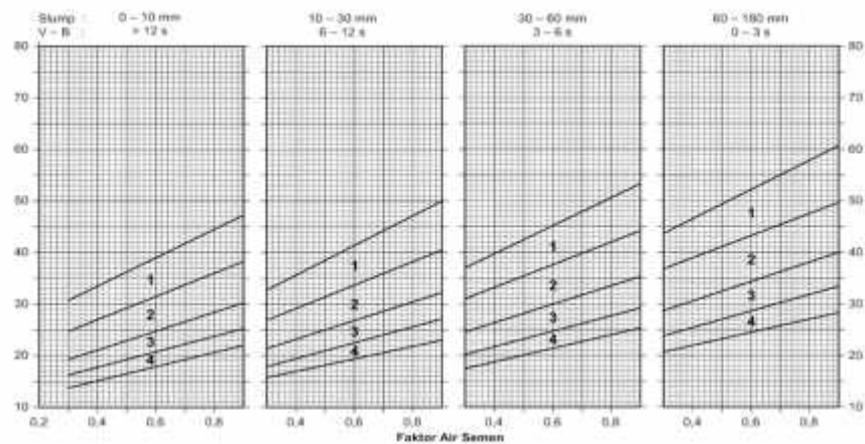
Untuk penentuan persentase jumlah agregat halus dapat menggunakan grafik perbandingan antara agregat halus dengan agregat campuran berdasarkan ukuran butiran maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen dan daerah gradasi agregat halus seperti pada grafik berikut.



Gambar 14. Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm



Gambar 15. Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm



Gambar 16. Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

i. Penentuan berat jenis relatif agregat

Berat jenis relatif agregat adalah berat jenis agregat gabungan, artinya gabungan agregat halus dan agregat kasar. Berat jenis gabungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$BJ_{gab} = \frac{X_a}{100} \times BJ_{Ag.halus} + \frac{X_b}{100} \times BJ_{Ag.kasar}$$

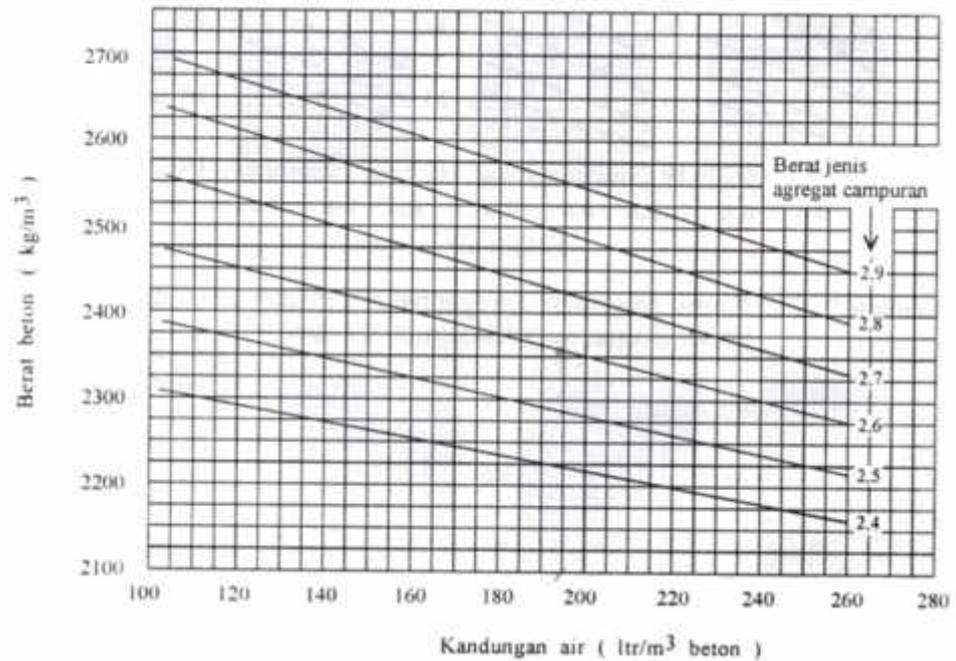
Dengan :

X_a = persentase agregat halus

X_b = $100 - X_a$

j. Penentuan berat beton segar

Berat beton segar ditentukan menggunakan grafik seperti di Gambar 17. berdasarkan data berat jenis gabungan dan kebutuhan air untuk setiap meter kubik.



Gambar 17. Grafik hubungan kandungan air, berat jenis campuran dan berat beton.

4. Pembuatan benda uji

Benda uji yang akan dibuat terdiri dari silinder diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm, balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm. Setiap variasi persentase terdiri dari tiga benda uji. Benda uji ini akan dilakukan tes pada saat umur mencapai 28 hari. Uji yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat lentur beton.

Tabel 15. Jumlah benda uji kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur

% serat kawat	Kode	Pengujian			jumlah sampel (buah)
		kuat tekan silinder uji 28 hari	kuat tarik belah silinder uji 28 hari	Kuat lentur balok uji 28 hari	
0	BZ	3	3	3	9
0,3	BF-03	3	3	3	9
0,7	BF-07	3	3	3	9
1	BF-1	3	3	3	9
Jumlah					36

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ferdy Erwanda (2012), dengan menggunakan fraksi volume V_f yang sama pada beton ringan, di dapat nilai terbesar untuk kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur terjadi pada fraksi volume 1%. Dengan data-data yang telah dihasilkan oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan beton ringan, maka peneliti ingin melakukan penelitian pada beton mutu tinggi dengan mengacu pada hasil penelitian sebelumnya apakah fraksi volume tersebut mempunyai hasil yang sama pada beton mutu tinggi.

Penelitian Leksono, Suhendro, dan Sulistyono (1995) tentang beton serat yang menggunakan kawat bendrat berbentuk lurus dan berkait ke dalam campuran beton. 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. (Ariatama,2007)

Tahapan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

- a. Sebelum dilakukan pencampuran, bahan – bahan penyusun beton seperti agregat kasar, agregat halus, dan semen terlebih dahulu disiapkan dalam kondisi *saturated surface dry* (SSD). Hal ini dimaksudkan agar bahan – bahan tersebut tidak menyerap air atau menambah air pada proses pencampuran yang akan memengaruhi kekuatan beton.
- b. Setelah bahan – bahan material dipersiapkan maka selanjutnya dilakukan pencampuran. Pada penelitian ini dilakukan empat kali pencampuran dengan masing-masing campuran menggunakan perbandingan berat

bahan-bahan susun beton. Urutan pencampuran bahan – bahan susun beton adalah sebagai berikut :

Mula – mula menghidupkan *concrete mixer* dengan kecepatan 20 rpm, kemudian berturut – turut agregat kasar dan agregat halus dimasukkan ke dalam *concrete mixer* selama satu menit. Setelah tercampur rata, semen dimasukkan ke dalam *concrete mixer* kemudian ditambahkan air yang belum tercampur dengan *superplasticizer* sedikit demi sedikit setelah adukan tercampur dan mulai saling mengikat lalu tambahkan sisa air yang sudah tercampur dengan *superplasticizer* dan aduk hingga tercampur seluruhnya. Pencampuran dilakukan selama kurang lebih tiga menit. Untuk beton serat, serat ditaburkan ke dalam *concrete mixer* yang telah berisi adukan beton biasa. Penaburan serat dilakukan dengan hati – hati dan diusahakan agar tersebar secara merata sehingga tidak terjadi penggumpalan serat yang dapat memengaruhi kekuatan beton serat.

- c. Setelah pencampuran selesai, adukan dituangkan ke dalam pan, lalu mengambil sebagian adukan untuk diukur nilai *slump*. Nilai *slump* diambil pada saat sebelum dan sesudah serat dimasukkan ke dalam adukan beton.
- d. Adukan beton yang telah di ambil nilai *slump*, dimasukkan ke dalam cetakan silinder dan balok. Kemudian adukan di dalam cetakan digetarkan menggunakan alat penggetar internal hal ini bertujuan agar tidak terjadi segregasi di campuran beton.
- e. Melepas beton dari cetakan setelah 24 jam. Setelah itu dilanjutkan ke tahapan *curing* sampel.

5. Perawatan terhadap benda uji (*curing*)

Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk mencegah terjadinya kehilangan air dalam jumlah besar, beton dapat mengalami retak-retak jika terlalu cepat mengalami penguapan air setelah beberapa saat dilakukan pengecoran.

Perawatan benda uji dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Benda uji yang telah berumur 24 jam dilepas dari cetakan berbentuk silinder dan balok.
- b. Selanjutnya benda uji direndam dalam bak air.
- c. Setelah benda uji direndam selama waktu yang sudah ditentukan, benda uji diangkat dan diangin-anginkan untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

E. Pengujian Beton

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

1. Pengujian *slump*

Peralatan yang digunakan pada pengujian *slump* adalah cetakan kerucut dengan tinggi 30 cm, diameter bagian atas 10 cm, dan diameter bagian bawah 20 cm. Batang baja dengan panjang 60 cm dan diameter 1,6 cm digunakan sebagai penumbuk adukan beton, pelat dasar, sekop kecil, sendok semen, dan penggaris. Langkah-langkah pengujian *slump* adalah sebagai berikut :

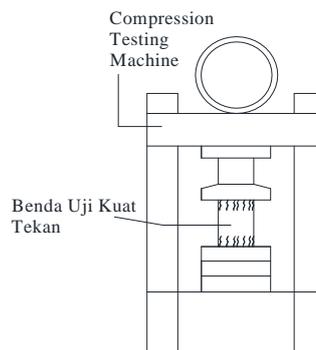
- a. Meletakkan cetakan kerucut di atas pelat yang rata permukaannya.
- b. Mengisi cetakan dengan menggunakan sekop kecil sampai penuh dengan 3 lapisan, tiap lapisan berisi $\frac{1}{3}$ isi cetakan, kemudian setiap lapis ditusuk dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali tusukan secara merata
- c. Setelah menyelesaikan penumbukan, ratakan permukaan benda uji dengan sendok semen.
- d. Mengangkat cetakan secara perlahan-lahan tegak lurus keatas. Setelah itu kerucut dibalik, dan diletakkan disamping adukan, lalu batang penumbuk direbahkan diatasnya.
- e. Mengukur tinggi *slump* dengan cara mengukur perbedaan tinggi antara kerucut dengan campuran adukan beton.
- f. Adukan beton fiber yang masih berbentuk kerucut terpancung dan berada dalam kontainer digetarkan sampai bentuk kerucut menjadi rata. Waktu penggetaran yang diperlukan untuk proses tersebut disebut *VB-time* yang menunjukkan tingkat kelecakan. Adukan beton mempunyai kelecakan yang baik apabila memiliki *VB-time* antara 5 s/d 25 detik (ACI Committee 544).

2. Pengujian kuat tekan & kuat tarik belah beton

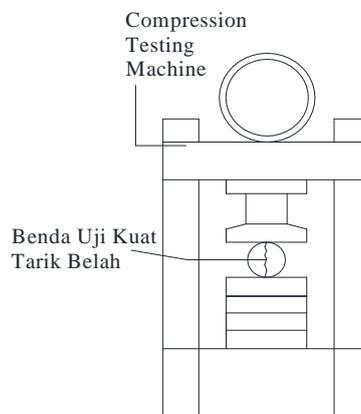
Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *compression testing machine* (CTM) yang berkapasitas 150 ton serta kecepatan pembebanan 0,14 – 0,34 MPa/detik. Prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut :

- a. Mengangkat benda uji berbentuk silinder yang telah diinginkan setelah melalui proses *curing*.

- b. Menimbang, mencatat dan memberi tanda pada benda uji.
- c. Meletakkan benda uji pada ruang penekan *Compression Testing Machine*.
- d. Memastikan jarum penunjuk tepat pada titik nol, kemudian menghidupkan mesin tekan dan secara perlahan alat menekan benda uji.
- e. Mengamati setiap perubahan atau penambahan kuat tekan & tarik belah pada jarum pengukurnya. Bila jarum sudah tidak bergerak lagi maka mesin dimatikan, dengan kata lain benda uji sudah hancur.
- f. Membaca dan mencatat angka pada jarum ukur yang merupakan besarnya beban tekan beton untuk setiap benda uji.
- g. Menghitung besarnya kuat tekan & tarik belah benda uji.



Gambar 18. Pengujian Kuat Tekan pada Beton

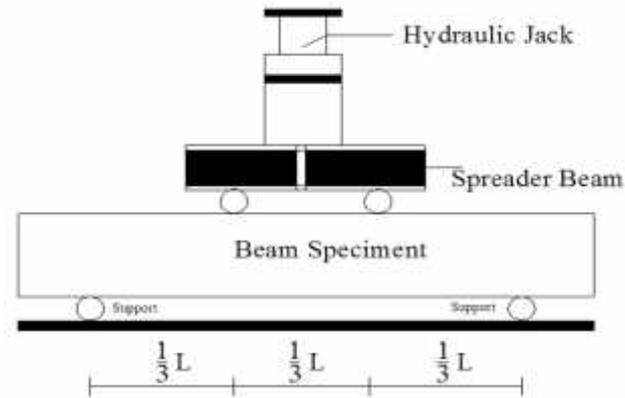


Gambar 19. Pengujian Kuat Tarik Belah pada Beton

3. Pengujian kuat lentur beton

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

- a. Mengangkat benda uji berbentuk balok yang telah diinginkan setelah melalui proses perendaman.
- b. Melapisi sampel balok dengan cat warna putih dan membuat blok 5x5 cm sepanjang sisi.
- c. Mesin penguji diatur jarak perletakkannya dan balok diletakkan pada mesin penguji.
- d. Meletakkan alat pembagi beban berupa pelat baja yang mempunyai dua roda.
- e. Mesin pembebanan dijalankan secara manual dengan peningkatan beban konstan dengan interval penambahan beban sebesar 20 pada *dial proving ring*.
- f. Mengamati *first crack* yang terjadi kemudian menggambar pola retaknya dan mencatat pembebanannya.
- g. Pembebanan dilakukan hingga *dial proving ring* mencapai angka 100 dan dicatat lebar retak dan pola retak balok beton.
- h. Menggunakan mesin uji lentur elektrik dengan kapasitas 100 kN untuk mendapatkan beban maksimum dari balok beton.



Gambar 20. Pengujian kuat lentur balok beton

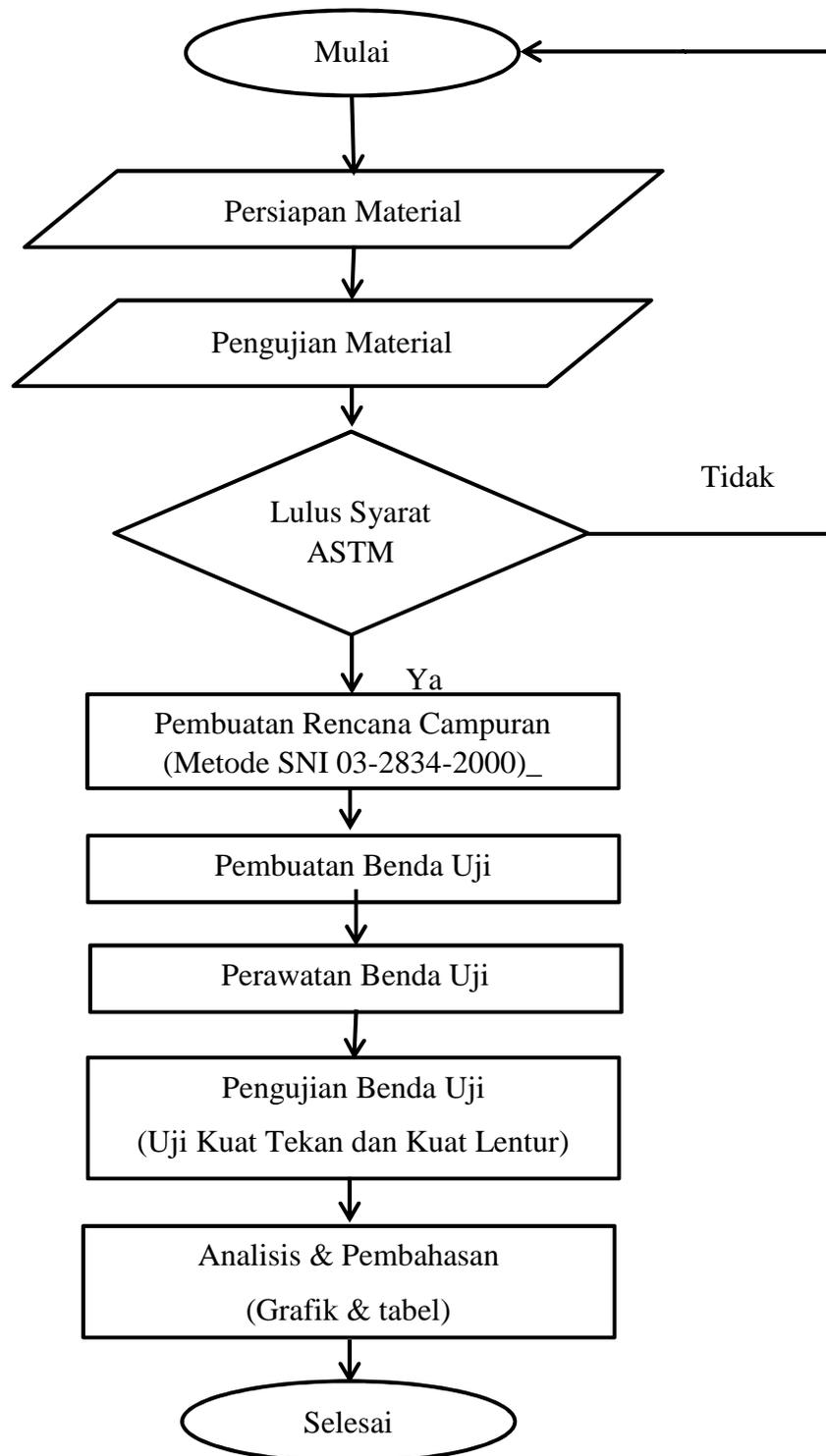
F. Analisis Hasil Penelitian

Semua hasil yang didapat dari penelitian ini akan ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik hubungan serta penjelasan-penjelasan yang didapat dari:

1. Pengujian kadar air agregat halus, berat jenis dan penyerapan agregat halus, gradasi agregat halus, kadar lumpur agregat halus dengan saringan, kandungan zat organik dalam pasir, dan berat volume agregat halus.
2. Pengujian kadar air agregat kasar, berat jenis dan penyerapan agregat kasar, gradasi agregat kasar, dan berat volume agregat kasar.
3. Analisis *slump* dan *VB-Time* pada beton mutu tinggi dengan penambahan kawat bendrat
4. Analisis kuat tekan beton mutu tinggi dengan penambahan kawat bendrat
5. Analisis kuat tarik belah beton mutu tinggi dengan penambahan kawat bendrat
6. Analisis kuat lentur beton mutu tinggi dengan penambahan kawat bendrat

Dari hasil analisis penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan hasil penelitian berdasarkan nilai-nilai yang didapat serta perbandingan data yang didapat dengan ketentuan-ketentuan yang terkait dengan penelitian.

G. Diagram Alir Penelitian



Gambar 21. Diagram alir pelaksanaan penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serat kawat bendrat pada beton menjadikan nilai *slump* semakin menurun seiring dengan bertambahnya *volume fraction* dan nilai *VB Time* mengalami peningkatan, sehingga dapat menurunkan tingkat kelecakan adukan beton
2. Pada pengujian rata – rata kuat tekan beton tanpa fiber pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 50,0118 MPa sedangkan kuat tekan rata – rata beton fiber pada *volume fraction* 0,3% sebesar 42,2741 MPa , *volume fraction* 0,7 % sebesar 41,8967 MPa, dan *volume fraction* 1 % sebesar 39,6320 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat.
3. Pada pengujian rata – rata kuat tarik belah beton tanpa fiber pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 3,3734 MPa. Sedangkan kuat tarik belah rata – rata beton fiber pada *volume fraction* 0,3% sebesar 4,1283 MPa , *volume fraction* 0,7 % sebesar 4,3406 MPa, dan *volume fraction* 1 %

4,6945 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat.

4. Pada pengujian kuat lentur balok beton bertulang tanpa fiber didapat nilai kuat lentur rata – rata sebesar 5,5062 MPa. Sedangkan nilai kuat lentur rata – rata beton fiber pada *volume fraction* 0,3 % sebesar 6,5724 MPa, *volume fraction* 0,7 % sebesar 7,7307 MPa, dan *volume fraction* 1 % sebesar 7,9133 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya *volume fraction* kawat bendrat.
5. Pada analisis perhitungan balok bertulang hasil pengujian balok beton tanpa fiber didapat nilai sebesar 7468031,25 Nmm sedangkan pada perhitungan teori didapat nilai 4821708,837 Nmm. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengujian balok lebih tinggi dibandingkan dengan teori. Sedangkan untuk balok bertulang dengan fiber hasil pengujian mendekati dengan usulan dari Suhendro.
6. Pola retak yang ditimbulkan pada balok beton bertulang dengan fiber maupun tanpa fiber ditandai dengan terjadinya retak rambut di bagian sisi bawah area pembebanan. Semakin ditambah nilai pembebanan yang dilakukan maka retak semakin memanjang secara vertikal dan lebar retak semakin membesar. Jenis retak/keruntuhan yang terjadi adalah retak/keruntuhan lentur dikarenakan terjadi di daerah lapangan beton.

B. Saran

Untuk penyempurnaan hasil penelitian serta untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Dalam membuat campuran beton diharapkan peneliti mampu membuat adukan homogen agar menghasilkan benda uji baik.
2. Dalam pembuatan beton dengan mutu tinggi diperlukan material campuran yang berkualitas. Bahan yang digunakan harus teruji dengan hasil yang baik. Khususnya dalam penelitian ini untuk agregat halus karena kandungan lumpur yang ada didalamnya harus memenuhi syarat ASTM. Disamping itu ketelitian dan perencanaan campuran (*mix design*) serta ketelitian dalam penimbangan bahan sangat menentukan kualitas beton yang dihasilkan.
3. Perlu dilakukan perhitungan beton mutu tinggi dengan kuat tekan yang sama tetapi menggunakan metode *mix design* yang berbeda.
4. Dalam menentukan persentase penggunaan *superplasticizer* ada baiknya dilakukan *trial mix design* terlebih dahulu agar nantinya adukan beton tidak mengalami *bleeding*.
5. Dalam pelaksanaan pencampuran beton fiber, penyebaran fiber harus diperhatikan dengan baik agar tidak terjadi penggumpalan (*balling effect*).
6. Pada penelitian ini terdapat koreksi metode perhitungan pada *volume fraction* sampel yang dapat dilihat pada Lampiran B.2.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

ACI 544 1R-96. 2002. *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. ACI Committee 544

Antoni, Paul dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Andi Offset.

Ariatama, Ananta. 2007. *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat*. Semarang. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

Erwanda, Ferdy. 2012. *Studi Prediksi Kapasitas Balok Beton Ringan Berserat Galvanum Bertulang*. Bandar Lampung. Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Andi Offset.

SNI 03-2834-2000. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton*. Badan Standarisasi Nasional

SNI 1974:2011. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 4431:2011. 2011. *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Jakarta. Badan Standardisasi Nasional.

Soroushian, P., And Bayasi, Z., 1987, *Concept Of Fiber Reinforced Concrete*, Proceeding Of The International Seminar On Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, Michigan, USA.

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

Purwanto, Eddy. 1999. *Pengaruh Fiber Lokal pada Perilaku dan Kuat Torsi Ultimit Balok Beton Bertulang*. Yogyakarta. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.

Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2012. *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Biro Penerbit KMTS FT UGM