

**UJIAN TUTUP TESIS**

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON TULANGAN BAMBU  
TAKIKAN SEJAJAR TIPE V**

***(FLEXURAL BEHAVIOR OF BAMBOO REINFORCED  
CONCRETE BEAMS PARALLEL NOTCHES V TYPE)***

**HERLINA ARIFIN**

**D012211014**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**UJIAN TUTUP TESIS**

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON TULANGAN BAMBU  
TAKIKAN SEJAJAR TIPE V**

***(FLEXURAL BEHAVIOR OF BAMBOO REINFORCED  
CONCRETE BEAMS PARALLEL NOTCHES V TYPE)***

**HERLINA ARIFIN**

**D012211014**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**UJIAN TUTUP TESIS**

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON TULANGAN BAMBU  
TAKIKAN SEJAJAR TIPE V**

***(FLEXURAL BEHAVIOR OF BAMBOO REINFORCED  
CONCRETE BEAMS PARALLEL NOTCHES V TYPE)***

**HERLINA ARIFIN**

**D012211014**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**PENGAJUAN TESIS**

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON TULANGAN BAMBU  
TAKIKAN SEJAJAR TIPE V**

Tesis  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister  
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

**HERLINA ARIFIN  
D012211014**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

# TESIS

## PERILAKU LENTUR BALOK BETON TULANGAN BAMBU TAKIKAN SEJAJAR TIPE V

**HERLINA ARIFIN**  
**D012211014**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 01 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng  
NIP. 196207291987031001

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T  
NIP. 197912262005011001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM  
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil



Dr. M. Asad Abdurrahman, ST. MEng. PM  
NIP. 197303061998021001

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS  
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Herlina Arifin  
Nomor mahasiswa : D012211014  
Program studi : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Perilaku Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Takikan Sejajar Tipe V” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof.Dr.Ing.Herman Parung, M.Eng dan Dr. Eng.A.Arwin Amiruddin, S.T.,M.T. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding 4<sup>th</sup> International Conference on Civil and Environmental Engineering IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 1117 DOI 10.1088/1755-1315/1117/1/01/012010 sebagai artikel dengan judul “Bonding Strength of Buluhpring Bamboo Reinforcement Parallel and Non-Parallel Notches U-Type in Concrete”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, Februari 2023

Yang menyatakan



Herlina Arifin

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah atas rahmat dan ridho-Nya penyusunan Tesis penulis yang berjudul **“Perilaku Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Takikan Sejajar Tipe V”** dapat penulis selesaikan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan studi Magister pada Jurusan Ilmu Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyampaikan penghargaan sangat tinggi dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah membantu melewati semua proses penyusunan Tesis ini, terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng dan Dr.Eng .Ir. A,Arwin Amiruddin, ST., M.T** selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu berharga dan ilmu yang bermanfaat selama proses penyusunan Tesis ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya dengan tepat waktu.
2. **Prof. Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng, Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT, dan Dr. Eng. M. Akbar Caronge ST, M. Eng** selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun untuk penulis.
3. **Universitas Muhammadiyah Sorong** yang telah menjadi pendukung penulis selama masa studi, terkhusus **Ir. Irman Amri, ST., MT dan Ir. Hendrik Pristianto, ST., MT** sebagai orang tua yang telah banyak membantu penulis dalam masa studi magister berlangsung.
4. **Alfina Maysyurah, ST., MT, Muhammad Nur Fajar, ST., MT, Sugira Said, ST., MT dan Jumarni, S.Hum** terima kasih untuk setiap dukungan kalian serta kenangan indah selama studi Magister yang tak dapat diulang.
5. **Fadillah Wirjaza Putri, SPd** yang telah menjadi teman dan pendukung setia penulis meski jarak dan waktu memisahkan selama masa studi.
6. **Teman-teman se-angkatan 20211 Magister KKD struktur** yang telah memberikan dukungan dan kenangan dalam melewati suka duka selama perjalanan studi bersama,
7. **Seluruh Dosen dan Staff Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin** yang telah membantu penulis dalam menimbah ilmu dan pengurusan selama masa studi.
8. **Adik-adik laboratorium riset gempa** yang telah membantu selama penelitian

## PERSEMBAHAN

Dengan ucapan syukur Alhamdulillah, lembar demi lembar Tesis ini penulis persembahkan kepada :

### Orang Tua

Kepada ayahanda **Arifin Taken** dan ibunda **Bulkis رحمه الله** tercinta yang telah menjadi kekuatan terbesar dalam menjalani hari-hari dan atas kasih sayang serta do'a-do'a baik beliaulah sehingga anakmu berhasil mencapai gelar Magister ini. Kini keinginan ibunda telah terkabulkan, *I'm so glad to be your daughter.*

### Keluarga

Kepada dua kakak laki-laki **Anwar Arifin** dan **Aswar Arifin**, terima kasih atas dukungannya yang telah diberikan dalam melewati semua masa suka dan duka, begitu banyak kenangan bersama hingga saat ini. Teruntuk kak **Dian Pratiwi** dan **Muawana Kadir** terima kasih karena telah menjadi saudara perempuan yang menemani dalam setiap cerita. Teristimewa keponakan **Arkana** terkasih yang menjadi semangat dan warna baru selama studi Magister ini dijalani.

### Myself

*Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for always being a giver and trying give more than I receive. I wanna thank me for trying to do more right than wrong. I wanna thank me for just being me at all times.*

Gowa, 31 Januari 2023

Penulis,

Herlina Arifin



## ABSTRAK

**HERLINA ARIFIN.** Perilaku Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Takikan Sejajar Tipe V (dibimbing oleh **Herman Parung** dan **Andi Arwin Amiruddin**)

Penelitian ini menggunakan benda uji balok beton dengan dimensi 200 mm x 150 mm x 3000 mm yang diberikan tulangan bambu jenis buluhpring takikan sejajar tipe V jarak 20 mm (BB20) dan jarak 40 mm (BB40) dan juga benda uji balok beton tulangan baja (BN) sebagai pembanding. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku lentur yang terjadi pada balok. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh rerata beban maksimum pada benda uji BB-40 sebesar 13.87 kN atau 49.11% dari rerata beban maksimum BN (28.24 kN), sedangkan rerata beban maksimum BB-20 sebesar 16.18 kN atau 57.29% dari rerata beban maksimum BN (28.24 kN). Apabila membandingkan lendutan yang terjadi pada benda uji, diperoleh hasil rerata benda uji BB-40 sebesar 31.34 mm atau 74.12% dari rerata lendutan maksimum BN (42.28 mm) sedangkan pada benda uji BB-20 memiliki hasil rerata lendutan sebesar 35.31 mm atau 83% % dari rerata lendutan maksimum BN (42.28 mm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa apabila dibandingkan dengan balok beton tulangan baja maka hasil balok beton dengan tulangan bambu takikan sejajar tipe V jarak 20 mm memiliki kualitas yang lebih baik dalam menahan beban dan memiliki daktilitas yang lebih tinggi daripada balok beton tulangan bambu sejajar tipe V jarak 40 mm.

**Kata kunci:** bambu buluhpring, beton bertulang, perilaku lentur balok

## ABSTRACT

**HERLINA ARIFIN.** Flexural Behavior of Bamboo Reinforced Concrete Beams Parallel Notches V Type (supervised by **Herman Parung** and **Andi.Arwin Amiruddin**)

This study used concrete beam specimens with dimensions of 200 mm x 150 mm x 3000 mm which were given bamboo reinforcement types of rebar with parallel notch type V spacing of 20 mm (BB20) and spacing of 40 mm (BB40) and also steel reinforcement concrete beam specimens (BN) as a comparison. This study aims to determine the bending behavior that occurs in the beam. According to the test results, the average maximum load for the BB-40 specimen was 13.87 kN, which is 49.11% of the average maximum load for BN (28.24 kN), while the average maximum load for the BB-20 specimen was 16.18 kN, which is 57.29% of the average maximum load for BN (28.24 kN). When comparing the deflection that takes place on the test object, the BB-40 test object's average result is 31.34 mm, or 74.12% of the average maximum deflection of BN (42.28 mm), whereas the BB-20 test object's average result is 35.31 mm, or 83% of the average maximum deflection of BN (42.28 mm). Concrete beams with parallel notch bamboo reinforcement type V spacing of 20 mm had superior quality in holding loads and had higher ductility than parallel bamboo reinforced concrete beams type V spacing of 40 mm, according to the results when compared with steel reinforced concrete beams.

**Keywords:** buluhpring bamboo, reinforced concrete, flexural behavior of beams

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PENGAJUAN TESIS</b> .....	iv
<b>PERSETUJUAN TESIS</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Tujuan Penelitian .....	3
I.4 Manfaat Penelitian .....	3
I.5 Ruang Lingkup .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
II.1 Penelitian Terdahulu .....	5
II.2 Bambu .....	10
II.2.1 Standar Pengujian Bambu .....	11
II.2.2 Sifat Fisika Bambu .....	11
II.2.3 Sifat Mekanika Bambu .....	12
II.2.4 Tipe Takikan Bambu .....	13
II.2.5 Bambu Sebagai Tulangan .....	14
II.3 Beton .....	14
II.3.1 Beton Sebagai Bahan Konstruksi .....	15
II.3.2 Balok Beton Bertulang .....	15
II.3.3 Daktilitas .....	17
II.3.4 Kekuatan Beton .....	18

II.3.5	Pola Retak Balok .....	23
II.3.6	Hubungan Beban-Lendutan .....	24
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
III.1	Bagan Alir Penelitian ( <i>Flowchart</i> ) .....	27
III.2	Lokasi dan Waktu Penelitian .....	28
III.3	Standar Pengujian.....	28
III.5	Benda Uji .....	28
III.5	Alat dan Bahan.....	32
III.5.1	Alat.....	32
III.5.2	Bahan.....	32
III.6	<i>Set-Up</i> Alat.....	33
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
IV.1	Karakteristik Material.....	34
IV.1.1	Karakteristik Bambu.....	34
IV.1.2	Karakteristik Baja .....	35
IV.1.3	Karakteristik Beton.....	36
IV.2	Analisa Balok Beton Bertulang .....	37
IV.2.1	Kapasitas Lentur Balok.....	37
IV.2.2	Hubungan Beban dan Lendutan Balok.....	38
IV.2.3	Hubungan Beban dan Regangan Beton.....	41
IV.3	Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton.....	43
IV.4	Pola Retak dan Keruntuhan Balok.....	44
IV.4.1	Pola Retak Balok Tulangan Bambu .....	44
IV.4.2	Pola Retak Balok Balok Tulangan Baja.....	46
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>48</b>
V.1	Kesimpulan .....	48
V.2	Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>52</b>

**DAFTAR TABEL**

Nomor	Halaman
<b>Tabel 1</b> Spesifikasi sampel uji.....	29
<b>Tabel 2</b> Hasil pengujian kadar air bambu.....	34
<b>Tabel 3</b> Hasil pengujian kekuatan tarik bambu .....	35
<b>Tabel 4</b> Hasil pengujian kekuatan tarik baja .....	36
<b>Tabel 5</b> Hasil pengujian kekuatan tekan beton.....	36
<b>Tabel 6</b> Hasil analisa dan pengujian beton tulangan baja .....	37
<b>Tabel 7</b> Hasil pengujian beton tulangan bambu .....	37
<b>Tabel 8</b> Rekapitulasi pengujian kekuatan lentur .....	43

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
<b>Gambar 1</b> Bambu Buluh Pring ( <i>Gigantochloa Atter Kurz</i> ), Gowa .....	10
<b>Gambar 2</b> Pengujian tarik bambu .....	13
<b>Gambar 3</b> Tipe takikan bambu .....	13
<b>Gambar 4</b> Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan lentur .....	19
<b>Gambar 5</b> Grafik umur beton.....	19
<b>Gambar 6</b> Hubungan tegangan dan regangan tekan beton .....	20
<b>Gambar 7</b> Hubungan tegangan dan regangan tarik beton .....	21
<b>Gambar 8</b> Daerah patah pada balok uji.....	23
<b>Gambar 9</b> Ilustrasi retak lentur dan retak geser balok.....	23
<b>Gambar 10</b> Hubungan antara beban dan lendutan .....	25
<b>Gambar 11</b> Diagram alir penelitian .....	27
<b>Gambar 12</b> Detail tulangan bambu BB-40.....	29
<b>Gambar 13</b> Potongan memanjang balok BB-40.....	29
<b>Gambar 14</b> Detail potongan balok BB-40.....	30
<b>Gambar 15</b> Detail tulangan bambu BB-20.....	30
<b>Gambar 16</b> Detail tulangan bambu BB-20.....	30
<b>Gambar 17</b> Detail potongan balok BB-40.....	31
<b>Gambar 18</b> Potongan memanjang balok BN.....	31
<b>Gambar 19</b> Detail penampang balok BN .....	31
<b>Gambar 20</b> Skema <i>set up</i> alat uji .....	33
<b>Gambar 21</b> Penempatan two point load pada balok .....	33
<b>Gambar 22</b> Grafik hubungan beban-lendutan balok baja.....	38
<b>Gambar 23</b> Grafik beban-lendutan balok bambu takikan 40mm .....	39
<b>Gambar 24</b> Grafik beban-lendutan balok bambu takikan 20mm .....	40
<b>Gambar 25</b> Grafik beban-regangan beton balok baja.....	41
<b>Gambar 26</b> Grafik beban-regangan beton balok bambu takikan 40mm.....	41
<b>Gambar 27</b> Grafik beban-regangan beton balok bambu takikan 20mm .....	42
<b>Gambar 28</b> Pola retak balok takikan 40mm sampel 1 .....	44
<b>Gambar 29</b> Pola retak balok takikan 40mm sampel 2.....	44
<b>Gambar 30</b> Pola retak balok takikan 20mm sampel 1 .....	45

<b>Gambar 31</b> Pola retak balok takikan 20mm sampel 2 .....	45
<b>Gambar 32</b> Pola retak balok baja sampel 1 .....	46
<b>Gambar 33</b> Pola retak balok baja sampel 2 .....	46

**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Dokumentasi selama penelitian .....	52



## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / Singkatan	Arti dan keterangan
$f'_c$	: Kuat Tekan Beton (MPa)
$P_{cr}$	: Beban Retak (kN)
$P_y$	: Beban Leleh (kN)
$P_u$	: Beban Ultimit (kN)
$A$	: Luas Area Penampang ( $mm^2$ )
$H$	: Tinggi Penampang
$\epsilon'_c$	: Regangan Tekan Beton
$\Delta$	: Lendutan (mm)
$F_y$	: Tegangan Leleh
$M_u$	: Moment Ultimit
$M_y$	: Moment Leleh
$M_{cr}$	: Moment Retak
$M_n$	: Moment Nominal
KA	: Kadar Air Bambu (%)
BA	: Berat Bambu Sebelum di Oven (gr)
BKT	: Berat Bambu Setelah di Oven (gr)
BJ	: Berat Jenis Bambu
Wa	: Berat Benda Kering Uji Kering Oven (gr)
Gb	: Berat Air (gr)
ft//	: Kuat Tarik Sejajar Serat (MPa)

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Sebagian besar proyek infrastruktur hingga perumahan pada masa saat ini dibangun menggunakan bahan konvensional seperti baja dan beton yang telah meningkat dalam dua dekade terakhir. Bahan yang digunakan merupakan bahan produksi yang menyebabkan kerusakan pada atmosfer alam karena pelepasan CO<sub>2</sub> dan cairan berbahaya lainnya. Ini merupakan kekurangan pada penggunaan bahan tersebut, telah diketahui bahwa dalam dunia konstruksi beton telah banyak digunakan sebagai bahan bangunan karena penggunaan beton banyak manfaat seperti efektivitas biaya, ketersediaan, dan ketahanan terhadap terjadinya api. Meskipun memiliki keuntungan yang banyak, beton memiliki kuat tarik yang rendah sehingga beton membutuhkan kekuatan tambahan dalam menahan kekuatan tarik tinggi.

Pada umumnya, beton diperkuat dengan tulangan baja. Meskipun baja memiliki kuat tarik yang sangat tinggi dibandingkan dengan beton untuk melengkapi kelemahan beton dalam gaya tarik, umur penggunaan baja harus dipersempit karena mahal dan konsumsi energinya tinggi (Sajjad Qaiser a.,2020). Penelitian untuk bahan alternatif telah ada sejak tahun 1960. Banyak tersedia secara alami serat telah digunakan bersama dengan beton, salah satu bahan yang tersedia secara alami adalah bambu. Bambu dikenal sebagai bahan yang cepat tumbuh, terbarukan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. (Pankaj R., 2019 ). Bambu sendiri telah muncul sebagai bahan yang memungkinkan untuk digunakan sebagai alternatif pengganti baja pada balok beton. Pada saat ini, penelitian memiliki studi eksperimental dan studi analitis dimana dalam studi eksperimental yang dilakukan berbagai fisik dan mekanik sifat bambu yang dievaluas, dimana bambu yang dijadikan pengganti tulangan baja untuk penggunaan bangunan sederhana seperti rumah tinggal. Geometri batang bambu khas terdiri dari penampang

melingkar dengan diafragma/simpul sepanjang tinggi batang. Karena struktur berserat (sepanjang butir) batang, bilah bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Dibandingkan dengan konvensional bambu, baja tulangan memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi (sekitar enam kali lebih tinggi). Sebuah batang bambu mencapai kekuatan optimalnya sekitar usia dua hingga tiga tahun yang sudah dapat digunakan.

Dengan adanya alternatif bambu sebagai pengganti tulangan baja pada beton maka akan lebih mudah bagi masyarakat khususnya yang berada pada tempat pedesaan dalam membangun tempat tinggal atau bangunan *non-structural* dikarenakan tulangan baja masih sulit diakses dalam beberapa wilayah, tidak dengan bambu yang menjadi salah satu hasil alam dan mudah ditemukan di berbagai tempat. Tidak hanya mudah didapatkan saja tetapi bambu juga mengurangi biaya konstruksi serta proses pengerjaannya tergolong lebih mudah. Berbagai bentuk penampang tongkat bambu seperti lingkaran, persegi dan segitiga digunakan sebagai tulangan pada konstruksi beton.

Dalam struktur bangunan tentu perlu adanya pengujian yang dilakukan untuk memenuhi syarat dan ketentuan, begitu pula pada struktur beton bertulang dengan menggunakan bambu sebagai tulangan pengganti. Bagaimana karakteristik dari bambu yang akan dijadikan penelitian hingga perilaku lentur yang terjadi pada balok beton ketika diberikannya beban menjadi acuan dalam peninjauan sebuah bangunan dimana melihat kelayakan pada beton tulangan bambu. Oleh karena uraian diatas maka penulis mengambil penelitian dengan judul **“PERILAKU LENTUR BALOK BETON TULANGAN BAMBU TAKIKAN SEJAJAR TIPE V”**.

## **I.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana perilaku lentur yang terjadi pada balok beton tulangan bambu?
2. Bagaimana perbandingan kapasitas beban dan lendutan antar balok tulangan bambu dengan balok tulangan baja?
3. Bagaimana pola retak dan keruntuhan yang terjadi pada balok?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian yang dilakukan secara keseluruhan bermaksud untuk mengetahui kekuatan lentur dari balok beton bertulang bambu takikan sejajar tipe V. Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ialah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan untuk menganalisis perilaku lentur yang terjadi pada balok beton dengan tulangan Bambu takikan sejajar tipe V.
2. Penelitian dilakukan untuk menganalisis perbandingan kapasitas beban dan lendutan antar balok tulangan bambu dengan balok tulangan baja.
3. Penelitian dilakukan untuk menganalisis pola retakan dan keruntuhan yang terjadi pada balok yang diuji

## **I.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ialah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan referensi untuk kelayakan karakteristik bambu buluh pring.
2. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam hal penggunaan bambu buluh pring sebagai tulangan beton bertulang.
3. Sebagai bahan referensi tambahan dalam penelitian perilaku lentur pada balok beton bertulang.

## I.5 Ruang Lingkup

Pada penelitian dan penulisan tugas akhir yang dikerjakan terdapat beberapa batasan-batasan seperti berikut:

1. Bambu yang digunakan adalah jenis bambu Buluh Pring dari daerah Gowa, Makassar.
2. Takikan pada bambu yang digunakan adalah takikan tipe V.
3. Ready Mixed K-300 dengan mutu  $f'c = 25\text{Mpa}$ .
4. Cetakan benda uji lentur yang digunakan berukuran lebar 15cm, tinggi 20cm, dan Panjang 330cm dengan menggunakan Semen *Potland Pozolan*.
5. Benda uji terdiri dari 3 balok normal dengan tulangan baja dan 3 balok dengan tulangan bambu takikan tipe V.
6. Pengujian beton dilakukan ketika beton telah berumur 28 hari.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **II.1 Penelitian Terdahulu**

1. Penelitian terkait oleh **Pratama Mulya (2016)** dengan judul Kuat Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Petung Tak Sejajar Takikan Tipe U Lebar 1 cm dan 2 cm Tiap Jarak 10 cm, hasilnya:
  - P maksimum yang terjadi pada balok tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U dengan lebar 10mm sebesar 10.7833kN dan untuk balok dengan tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U dengan lebar 20mm sebesar 14.7833kN .
  - Kuat lentur rerata pada balok dengan tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U dengan lebar 10mm sebesar 5.9150 N/mm<sup>2</sup> dan kuat lentur pada balok dengan tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U dengan lebar 20mm sebesar 8.8215N/mm<sup>2</sup>.
  - Kuat lentur balok beton tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U dengan lebar 10mm sebesar 67.05% dari kuat lentur balok beton tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U dengan lebar 20mm.
  - Pola keruntuhan balok beton tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U yang terjadi pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu runtuh 5% diluar 1/3 bentang tengah dan runtuh pada 1/3 bentang tengah. Hal tersebut menandakan bahwa balok mengalami lentur murni dan tidak mengalami gagal geser.
  
2. Penelitian terkait oleh **Agus Setya Budi (2016) (2016)** dengan judul Kapasitas Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Ori Takikan Jarak 20 mm dan 30 mm, hasilnya :
  - Kapasitas lentur rerata hasil uji pada brnda uji balok beton tulangan bambu ori takikan V dengan jarak 20 mm adalah 0.412 tm, dan kapasitas lentur rerata dengan jark antar takikan 30 mm adalah 0.387 tm serta kapasitas lentur rerata balok beton tulangan baja Ø8 mm sebesar 0.516 tm.

- Mmax hasil pengujian balok tulangan bambu Ori takikan jarak 20 mm sekitar 79.8% terhadap balok bertulangan baja Ø8 mm.
  - Mmax hasil pengujian balok tulangan bambu Ori takikan jarak 30 mm sekitar 74.9% terhadap balok bertulangan baja Ø8 mm.
3. Penelitian terkait oleh **Totok Widyanto (2016)** dengan judul Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulabg Bambu Wulung Takikan Tipe U Jarak 15 C, pada Lebar Takikan 1 Cm Dan 2 Cm Terhadap Tulangan Baja, hasilnya :
- Momen nominal berdasarkan analisis pada benda uji balok beton tulagan bambu wulung takikan tipe U pada kuat tarik nodia di dapat sebesar 0.215 tonm, dan pada balok bertulangan baja Ø8 mm didapat momen nominal berdasarkan analisis sebesar 0.487 tonm.
  - Momen nominal hasil uji eksperimental pada benda uji balok beton tulangan bambu wulung takikan tipe U dengan jarak takikan 15 cm lebar 10 mm didapat rerata sebesar 0.231 tonm, dan pada nalok bertulangan bambu wuung takikan tipe U dengan jarak 10 cm dan lebar 20 mm didapat momen nominal hasil pengujian rerata sebesar 0.487 tonm.
  - Pada kuat tarik nodia, rasio kapasitas lentur balok bertulangan bambu Wulung takikan tipe U dengan jarak takikan 15 cm lebar 10 mm = 0.072, dan balok bertulangan bambu Wulung takikan tipe U dengan jarak takikan 10 cm dan lebar 20 mm = 1.210. Pada balok bertulangan baja Ø8 mm rasio kapasitas lentur di dapat sebesar 1.010.
  - Kapasitas lentur hasil pengujian balok bertulangan balok bambu wulung takikan tipe U dengan jarak 15 cm lebar 10 mm menjadi 53.17% dari kapasitas lentur balok bertulangan baja Ø8 mm, dan untuk kapasitas lentur balok bertulangan bambu wulung dengan jarak 10 cm lebar 20 mm pun menjadi 47.16 % dari kapasitas lentur balok bertulangan baja Ø8 mm.
  - Pola retak yang terjadi dimulai dari tengah bentang balok dan disusul pada daerah bawah dua titik pembagi beban yang mengarah dan menjalar pada titik pembagi beban tersebut, dari 10 buah buah balok yang diuji, rerata keruntuhan terjadi pada 1/3 bentang tenga balok an dapat dikatakan keruntuhan lentur.

4. Penelitian terkait oleh **Ummi Kultsum (2014)** dengan judul kajian kuat lentur balok beton tulangan bambu wulung takikan tipe V dengan jarak 2 cm dan 3 cm, hasilnya :
  - Momen nominal hasil pengujian pada benda uji balok bertulangan bambu wulung takikan tipe V jarak takikan 2 cm dan 3 cm, baja p8 dan tanpa tulangab secara berturut-turut didapat rerata sebesar 0.436 tonm, 0.441 tonm
  - Momen nominal berdasarkan analisis pada benda uji balok bertulangan bambu wulung takikan tipe V pada kuat tarik internodia, nodia dan baja p8 mm secara berturut-turut didapat sebesar 0.454 tonm, 0.378 tonm dan 0.505 tonm.
  - Rasio kapasitas lentur balok bertulangan bambu wulung takikan tipe V jarak takikan 2 cm dan 3 cm didapat sebesar 0.962 dan 0.971 pada kuat tarik internodia. Sedangkan pada kuat tarik nodia rasio kapasitas lentur balok bertulangan bambu wulung takikan tipe V jarak takikan 2 cm dan 3 cm didapat sebesar 1.156 dan 1.167. Pada balok bertulangan baja p8 mm rasio kapasitas lentur didapat sebesar 1.022.
  - Nilai rerata lendutan maksimum pada beban maksimum yang terjadi berada pada 1/3 bentang tengah atau pada pencatatan dial gauge 2 yang posisinya berad pada tengah-tengah bentang balok.
  - Pola retak yang terjadi sesuai dengan yang diharapkan, dimana dari 12 buah balok yang diuji, rata-rata keruntuhan terjadi pada 1/3 bentang tengah balok dan daerah bagian bbean titik terpusat.
  
5. Penelitian terkait oleh **Muhammad Irsyad Aji (2014)** dengan judul Kajian Kapaitas Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu Wulung Takikan Tipe V Dengan Jarak Takikan 4 cm dan 5 cm, hasilnya :
  - Momen nominal hasil pengujian pada benda uji balok bertulangan bambu wulung takikan tipe V dengan jarak takikan 4 cm dan 5 cm dan bjaa p8 mm secara berturut-turut didapat rerata senilai 0.374 tonm, 0.341 tonm dan 0.516 tonm.
  - Momen nominal berdasarkan analisis pada benda uji balok bertulangan bambu wulung takikan tipe V pada kuat tarik internodia, nodia, dan baja p8



mm secara berturut-turut didapat senilai 0.454 tonm, 0.378 tonm dan 0.505 tonm.

- Rasio kapasitas lentur hasil pengujian balok bertulangan baja p8 mm dengan balok tulangan bambu wulung takikan 4 cm senilai 1.379, sedangkan dengan balok bertulangan bambu wulung takikan 5 cm senilai 1.514. rasio kapasitas hasil pengujian dengan hasil analisis pada lentur balok beton bertulangan bambu wulung takikan tipe V jarak 4 cm dan 5 cm senilai 0.962 dan 0.971 pada kuat tarik internodia, sedangkan pada kuat tarik nodia senilai 1.156 dan 1.167, dan pada balok tulangan baja p8 mm senilai 1.022.
  - Untuk mendapatkan kapasitas lentur yang seimbang antara hasil pengujian dengan hasil analisis, maka tegangan leleh ( $f_y$ ) nodia bambu wulung direduksi senilai 10.6% menjadi 288.341 MPa.
6. Penelitian terkait oleh **Imam Brata Adi Kusuma (2014)** dengan judul Kajian Kuat Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu Ori Takikan Tipe V Dengan Jarak 6 cm dan 7 cm, hasilnya :
- Kuat tarik leleh bambu yang digunakan untuk perencanaan secara analisis adalah kuat tarik nodia  $276.560 \text{ N/mm}^2$ , hal ini disebabkan karena kuat tarik bambu ori pada nodia berkisar setengah dari kuat tarik internodia. Untuk kuat tarik leleh baja p8 mm sebesar  $487.871 \text{ N/mm}^2$  dan kuat tekan beton sebesar  $18.29 \text{ N/mm}^2$ .
  - Lendutan maksimum pada beban maksimum yang terjadi merata berada pada  $1/3$  bentang tengah atau pada pencatatan dial gauge 2 yang posisinya berada pada tengah-tengah bentang balok, dengan pola retak yang terjadi dimulai pada daerah bentang balok dan disusul pada daerah dibawah dua titik pembagi beban yang mengarah dan menjalar pada dua pembagi beban tersebut, dari 12 buah balok yang diuji, rata-rata keruntuhan terjadi pada  $1/3$  bentang tengah balok dan dapat dikatakan keruntuhan lentur.
  - Kapasitas lentur hasil pengujian balok bertulangan bambu ori takikan 6 cm lebih kecil 48.647% dari kapasitas lentur balok bertulangan baja p8 mm, dan balok bertulangan bambu ori takikan 7 cm didapat 37.882 lebih kecil dari balok bertulangan baja p8 mm.

- Besarnya rasio kapasitas lentur balok bertulangan bambu ori takikan tipe V jarak takikan 6 cm = 1.058, balok bertulangan bambu ori takikan tipe V jarak takikan 7 cm = 1.141, pada kuat tarik nodia. Untuk kuat tarik internodia, rasio kapasitas lentur balok beton bertulangan bambu ori takikan tipe V jarak takikan 6 cm = 0.656, dan balok bertulangan bambu ori takikan tipe V jarak takikan 7 cm = 0.707. Pada balok bertulangan baja p8 mm rasio kapasitas lentur didapat sebesar 1.020.

7. Penelitian terkait oleh **Sajjad Qaiser (2020)** dengan judul “*Flexural Strength Improvement in Bamboo Reinforced Concrete Beams Subjected to Beams*”, hasilnya :

- Bambu memiliki kekuatan tarik hampir 101 MPa 25% baja grade 60 dan modulus elastisitas 19.505 MPa yang sama dengan 10% dari yang sama.
- Sampel uji tarik gagal tanpa indikasi sebelumnya kegagalan menunjukkan bahwa node lebih lemah dibandingkan dengan internode mengalami beban tarik.
- Bambu memiliki variabel kekuatan tarik serta kekuatan rekat yang membuatnya sulit untuk merancang komponen yang dapat digunakan sebagai penguatan.
- Penyerapan air bambu yang tersedia secara lokal ini adalah 37% yang terletak dalam kisaran yang tersedia dalam literatur 15% sampai 47%.
- Tegangan ikatan potongan bambu terletak dengan baik di dalam yang ditemukan oleh peneliti yang berbeda yaitu 0,11 MPa – 0,6 MPa.
- Berbagai teknik digunakan untuk memperbaiki tulangan bambu dan beton ikatan terbukti bermanfaat dalam melakukannya dan meningkatkan ikatan kekuatan secara signifikan. Sampel yang diperkuat bambu kabel peningkatan tegangan ikatan hingga 17% dan strip dengan gelombang memperbaikinya hingga 79%.
- Mengenai retakan pertama pada balok tulangan bambu, mereka muncul dalam kisaran beban dari 12 kN hingga 14 kN.

- Kapasitas pamungkas balok meningkat dari 11% untuk bambu berkawat balok diperkuat hingga 80% untuk balok bertulang bambu bergelombang dibandingkan dengan balok beton bertulang bambu biasa.
- Semua balok gagal dalam lentur murni. Meskipun pola retak itu agak berbeda tetapi propagasi dan lokasi retakan berasal dalam daerah yang sama dari balok daerah lentur murni.

## II.2 Bambu



**Gambar 1** Bambu Buluh Pring (*Gigantochloa Atter Kurz*), Gowa

Bambu merupakan salah satu tanaman hutan yang menjalar ke segala arah untuk menguasai lahan yang ada. Bambu sudah digunakan oleh masyarakat dari dulu hingga sekarang untuk berbagai kebutuhan. Kondisi fisik yang kuat, relatif lurus, ringan dan mudah dikerjakan menjadikan bambu sebagai salah satu tumbuhan yang bermanfaat. Faktanya, bambu memegang rekor sebagai *The World's Fastest Growing Plant pada Guinness World Record*. Hal inilah yang menjadikan bambu merupakan tanaman yang lebih produktif dibandingkan tanaman lainnya. Selain itu, kecepatan tumbuh dari bambu juga mempengaruhi seberapa banyak karbon dioksida yang dapat diserap oleh bambu.

### II.2.1 Standar Pengujian Bambu

Pada material bambu yang digunakan sebagai bahan penelitian berdasar pada standar pengujian ISO 22157-01-2004. Standar ini menetapkan prosedur pengujian untuk spesimen yang diperoleh dari batang bambu bulat. Data yang diperoleh dari metode pengujian ini dapat digunakan untuk menetapkan sifat fisik dan mekanik dari bambu yang akan digunakan untuk desain rekayasa struktur atau penelitian lainnya.

Dokumen ini menyediakan metode untuk mengevaluasi sifat fisik dan kekuatan berikut: kadar air, densitas, massa persatuan panjang; sifat kekuatan sejajar dengan arah serat, tekan, tarik dan tekuk, dan sifat kekuatan tegak lurus terhadap arah serat, tarik dan tekuk.

### II.2.2 Sifat Fisika Bambu

Sifat fisika bambu merupakan perilaku fisik bambu sebagai tanggapan terhadap perubahan kondisi udara di sekitar tempat tumbuh bambu. Sifat fisis bambu ditentukan oleh faktor dalam yang meliputi (Heinz Frick, 2004):

1. Banyaknya zat dinding sel yang ada pada bambu.
2. Susunan dan arah mikrofibril dalam sel-sel.
3. Jaringan-jaringan dan Susunan kimia zat dinding sel.
4. Lingkungan pertumbuhan dan asalnya.

Pada bambu yang baru dipotong, kadar air berkisar antara 50-99% dan pada bambu kering sekitar 12-18%. Kadar air dinyatakan sebagai kandungan air yang berada dalam bambu. Kadar air pada bambu berbeda untuk setiap kondisi cuaca, namun akan relatif tetap untuk bambu yang berada pada kondisi kering udara. Kadar air bambu pada kondisi kering udara maksimum 20%. Kandungan air (kadar air) dalam bambu dapat dihitung menggunakan peraturan ISO 22157-01-2004 pada persamaan 1 berikut :

$$KA = \frac{BA - BKT}{BKT} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

KA: kadar air

BA: Berat Awal (berat bambu ditambah dengan air) (gram)

BKT: Berat kering tanur (gram)

### II.2.3 Sifat Mekanika Bambu

Dalam perancangan bambu sebagai bahan konstruksi, sifat mekanika bambu merupakan nilai yang paling utama. Nilai ini yang akan menentukan kuat tidaknya dan layak tidaknya bambu tersebut dalam bidang konstruksi. Sifat-sifat mekanika bambu tergantung pada:

1. Jenis bambu yang berkaitan dengan tumbuh-tumbuhan.
2. Umur bambu pada waktu penebangan.
3. Kelembapan (kadar air kesetimbangan) pada batang bambu.
4. Bagian batang bambu yang digunakan (bagian kaki, pertengahan, atau kepala)
5. Letak dan jarak ruasnya masing-masing (bagian ruas kurang tahan terhadap gaya tekan dan lentur).

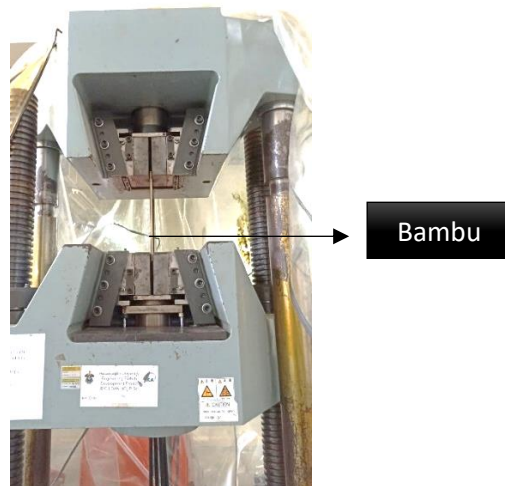
Pada sifat mekanika bambu termasuk di dalamnya kuat tarik bambu. Kekuatan tarik bambu adalah kemampuan bambu dalam menahan gaya tarik. Sama halnya pada tulangan baja, bambu pada penelitian ini akan mengalami gaya tarik sehingga kekuatan tarik pada bambu memiliki persamaan(2) dari ISO 22157-01-2004:

$$\sigma_{tr} = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2)$$

$\sigma_{tr}$  : Kuat tarik / tegangan tarik bambu (MPa)

P : Beban maksimum (N)

A : Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )



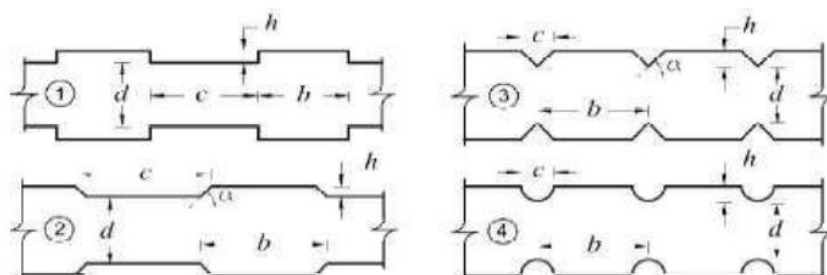
**Gambar 2** Pengujian tarik bambu

#### II.2.4 Tipe Takikan Bambu

Permukaan bambu yang polos rawan menyebabkan pergelinciran (*slip*) antara tulangan dan beton. Penggunaan takikan pada permukaan tulangan bambu dapat meningkatkan kuat lekat antara tulangan dan beton. Takikan dapat mengunci beton yang berada di sekeliling tulangan untuk menghindari penggelinciran.

Pendekatan model tulangan bambu dilakukan dengan membuat takikan pada bagian sisi kiri dan kanan. Hal ini diharapkan akan meningkatkan kuat lekat antara bambu dan beton. Tulangan bambu bertakikan dapat mengurangi pengaruh penyusutan atau pengembangan karena kandungan air, dengan adanya bagian saling mengunci antara permukaan tulangan dan beton. (Azadeh, 2013).

Untuk jenis-jenis takikan terdapat beberapa jenis tipe takikan yaitu takikan tipe U, takikan tipe trapesium, takikan tipe V, dan takikan tipe setengah lingkaran. Berikut tipe takikan pada bambu :



**Gambar 3** Tipe takikan bambu

(Sumber : Azadeh, 2013)

### **II.2.5 Bambu Sebagai Tulangan**

Material bambu dapat dijadikan sebagai pengganti tulangan baja pada beton bertulang, setelah bambu dipilah dan diuji karakteristik yang memenuhi maka penggunaan bambu sudah dapat dilakukan. Selain itu salah satu model penggunaan bambu sebagai pengganti tulangan juga dapat dibuatkan model takikan pada tulangan bambu.

Bambu bisa digunakan untuk menggantikan peran baja tulangan pada struktur beton. Kekuatan tulangan bambu pada struktur beton bertulang telah dibuktikan dari beberapa hasil penelitian, pada penelitian Suroso dan Widodo (2011) menyatakan bahwa bambu mempunyai peluang digunakan sebagai tulangan balok rumah sederhana. Budi (2012) membandingkan balok bertulang baja mutu 240 MPa, diperoleh kapasitas lentur balok dengan tulangan bambu berkisar 50% - 60% dari kapasitas lentur balok beton dengan tulangan baja.

### **II.3 Beton**

Beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton unggul dalam kekuatan tekan, namun lemah terhadap kekuatan tarik. Beton merupakan salah satu pilihan sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan. Beton diminati karena banyak memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya. Untuk pembebanan besar maka salah satu alternatif yaitu menggunakan beton mutu tinggi. Pada saat pembebanan beton dapat mengalami retak, karena beton lemah terhadap gaya tarik.

Tulangan dan beton dapat bekerja secara bersamaan atas dasar beberapa hal, yaitu :

1. Lekatan (*Bond*) yang merupakan interaksi antara tulangan dengan beton di sekelilingnya, yang akan mencegah slip dari tulangan terhadap beton.
2. Angka kecepatan muai yang relatif serupa menimbulkan tegangan antara baja dan beton yang dapat diabaikan di bawah perubahan suhu udara.

### **II.3.1 Beton Sebagai Bahan Konstruksi**

Beton adalah bahan bangunan yang paling banyak digunakan pada dunia modern ini. Bangunan dari beton diantaranya gedung, jalan raya, jembatan, jalan kereta api, bendungan, dan lain-lain. Kata beton atau *concrete* berasal dari Bahasa latin *concretus* berarti tumbuh bersama atau menggabungkan menjadi satu. Beton adalah bahan komposit yang cukup rumit, terdiri dari agregat berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) dan pasta semen berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*). Sering ditambahkan bahan kimia (*admixture*) untuk memperbaiki atau mengubah sifat-sifatnya sesuai dengan yang kita inginkan.

Meskipun beton dapat dibuat dengan mudah dalam merencanakan campuran beton perlu pengetahuan teknologi beton yang cukup untuk menghasilkan beton baik. Pada umumnya beton mempunyai komposisi pasta semen hanya sebesar 20-35% terhadap volume total beton tapi sangat memegang peranan penting terutama untuk perbandingan berat antar air/ semen. Semakin besar rasio berat air/semen maka semakin berkurang kekuatan beton sedang agregat mengisi volume beton sebesar 65-80%. Semen yang digunakan untuk beton mempunyai banyak tipe dan jenisnya dengan komposisi kimiawi yang berbeda. Sehingga dalam merencanakan campuran beton perlu diperhatikan sifat-sifat bahan dasar tersebut karena bisa mempengaruhi kekuatan beton. Selain pengendalian mutu bahan, diperlukan juga pengendalian selama pelaksanaan dan pengendalian perawatan selama masa pengerasan supaya menghasilkan beton berkualitas baik sesuai yang disyaratkan, seragam, dan ekonomis.

### **II.3.2 Balok Beton Bertulang**

Balok beton bertulang merupakan kombinasi dua unsur bahan; tulangan dan beton yang digunakan secara bersama, sehingga desain struktur elemen beton bertulang dilakukan berdasarkan prinsip yang berbeda dengan perencanaan desain satu bahan. Sistem konstruksi yang dibangun dengan beton bertulang seperti bangunan gedung, jembatan, saluran air, dan lainnya.

Pada beton bertulang, unsur beton mempunyai kekuatan tekan yang besar dan tidak mampu menerima tegangan tarik. Maka fungsi dari tulangan yang diberikan pada beton menjadi unsur kekuatan untuk memikul tegangan tarik yang



terjadi. Balok beton bertulang akan melentur pada saat beban bekerja. Lentur pada balok adalah akibat regangan deformasi yang disebabkan oleh beban eksternal. Pada saat beban ditingkatkan, balok tersebut menahan regangan dan defleksi tambahan, mengakibatkan retak-retak lentur sepanjang bentang dari balok tersebut. Penambahan yang terus-menerus terhadap tingkat beban mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut.

Sukses besar beton bertulang sebagai bahan konstruksi yang universal cukup mudah dipahami jika dilihat dari banyaknya kelebihan yang dimilikinya. Kelebihan tersebut antara lain (McCormac, Jack C. 2001):

1. Beton memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan yang lain.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air.
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh.
4. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi (*serviceability*).
5. Dibandingkan dengan bahan lain, beton memiliki usia layan yang sangat panjang. Dalam kondisi-kondisi normal, struktur beton bertulang dapat digunakan sampai kapan pun tanpa kehilangan kemampuannya untuk menahan beban.
6. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi tapak, dinding, basement, tiang tumpuan jembatan, dan bangunan-bangunan lain semacam itu.
7. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk sangat beragam, mulai dari pelat, balok dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
8. Di sebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.
9. Keahlian buruh untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti baja struktur.

Di samping kelebihan-kelebihan beton bertulang sebagai suatu bahan struktur seperti yang telah disebutkan di atas, beton bertulang juga mempunyai berbagai kekurangan dan kelemahan. Kelemahan-kelemahan tersebut antara lain adalah:

1. Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah, sehingga memerlukan tulangan tarik.
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap di tempatnya sampai beton tersebut mengeras. Selain itu, penopang atau penyangga sementara mungkin diperlukan untuk menjaga agar bekisting tetap berada pada tempatnya, misalnya pada kolom, dinding, atap, dan struktur-struktur sejenis, sampai bagian-bagian beton ini cukup kuat untuk menahan beratnya sendiri.
3. Rendahnya kekuatan persatuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang panjang di mana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.
4. Akibat rendahnya kekuatan persatuan berat, rendahnya kekuatan persatuan volume akan mengakibatkan beton akan berukuran relatif lebih besar.

### **II.3.3 Daktilitas**

Daktilitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk mampu mengalami deformasi yang besar tanpa mengalami putus atau mengalami kehancuran. Daktilitas menggambarkan apakah bahan material bersifat getas atau daktil. Bahan yang bersifat daktil berarti bahan memiliki kapasitas regangan yang cukup besar.

Sedangkan bahan yang bersifat getas berarti bahan memiliki kapasitas regangan yang kecil. Bahan yang bersifat getas ini dapat runtuh atau hancur secara tiba-tiba tanpa adanya suatu peringatan terlebih dahulu sehingga berbahaya. Daktilitas didapatkan dengan cara membandingkan defleksi yang terjadi pada saat ultimit dengan defleksi yang terjadi pada saat leleh. Semakin rendah nilai daktilitas sebuah bahan, semakin getas bahan tersebut. Beton merupakan bahan yang bersifat getas. Hal ini dikarenakan nilai kuat tariknya yang jauh lebih rendah dari pada kuat tekan beton. Maka dari itu, tulangan dilakukan untuk menerima gaya tariknya sehingga kedua bahan dapat bekerja sama dimana gaya tekan ditahan oleh beton

dan gaya tarik ditahan oleh tulangnya. Pada SNI 03–1726-2019 persamaan daktilitas didapatkan dengan persamaan 3 dibawah :

$$\mu = \delta U / \delta Y \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

$\mu$  : Nilai daktilitas

$\delta u$  : Displacement pada kondisi ultimit (mm)

$\delta y$  : Displacement pada kondisi leleh (mm)

### II.3.4 Kekuatan Beton

Ada 3 kemungkinan yang bisa terjadi menyebabkan kegagalan balok beton bertulang (Nawy, Edward G. 2010):

1. Kondisi *Balanced-Reinforced*. Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Dapat dihitung dengan persamaan 4 dan 5 dibawah ini :

$$\text{Kondisi regangan : } \epsilon_c = 0,003 \text{ dan } \epsilon_s = f_y / E_s \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Pada kondisi ini berlaku: } \rho = \rho_{\text{balanced}} \text{ dan } \epsilon_s = \epsilon_y \dots\dots\dots (5)$$

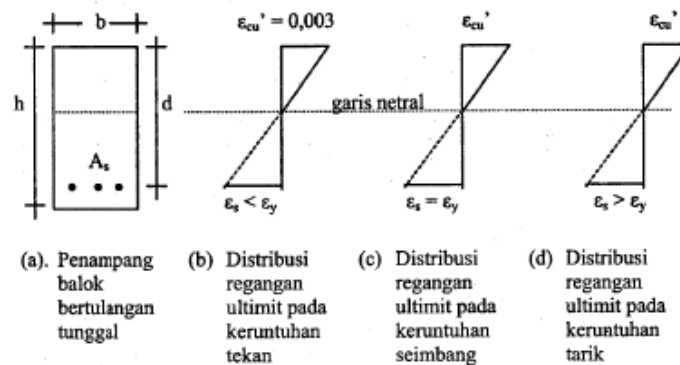
2. Kondisi *Over-Reinforced*. Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan balanced. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya penampang beton terlebih dahulu sebelum tulangan baja meleleh. Dapat dihitung menggunakan persamaan 6.

$$\text{Pada kondisi ini berlaku: } \rho > \rho_{\text{balanced}} \text{ dan } \epsilon_s < \epsilon_y \dots\dots\dots (6)$$

3. Kondisi *Under-Reinforced*. Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi balanced. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja terlebih dahulu dari betonnya. Dapat dihitung menggunakan persamaan 7.

$$\text{Pada kondisi ini berlaku : } \rho < 75\% \rho_{\text{balanced}} \text{ dan } \epsilon_s < \epsilon_y \dots\dots\dots (7)$$

Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi under-reinforced. Distribusi regangan pada penampang beton untuk ketiga jenis keruntuhan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.

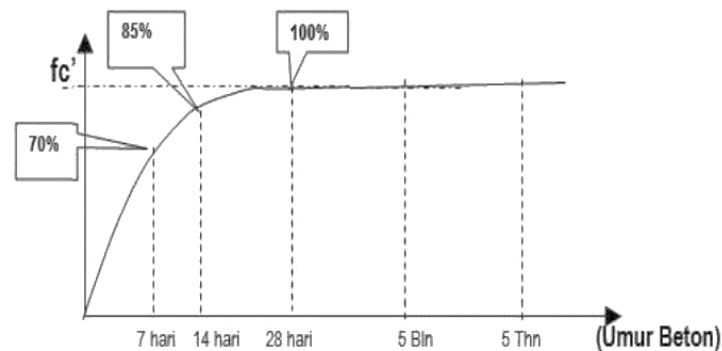


**Gambar 4** Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan lentur

### 1. Kuat Tekan Balok

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lainnya, misalnya kuat tarik dan modulus elastisitas beton dapat dikorelasikan terhadap kuat tekan beton. Menurut peraturan beton kuat tekan beton diberi notasi dengan  $f_c'$ , yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari. Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya, yaitu:

1. Mutu beton dengan  $f_c'$  kurang dari 10 MPa, digunakan untuk beton non struktur misalnya kolom praktis dan balok praktis.
2. Mutu beton dengan  $f_c'$  antara 10 MPa sampai 20 MPa, digunakan untuk beton struktur misalnya kolom, balok, pelat, maupun pondasi.
3. Mutu beton dengan  $f_c'$  lebih dari 20 MPa, digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.



**Gambar 5** Grafik umur beton

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton (diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm) ditekan dengan beban P sampai runtuh. Karena ada beban tekan P, maka terjadi tegangan tekan pada beton ( $f_c'$ ) sebesar beban P dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan menurut ASTM C 39-86 pada persamaan 8 :

$$f_c' = P / A \dots\dots\dots (8)$$

$f_c'$  = tegangan tekan beton, MPa

P = besar beban tekan, N

A = luas penampang beton, mm<sup>2</sup>

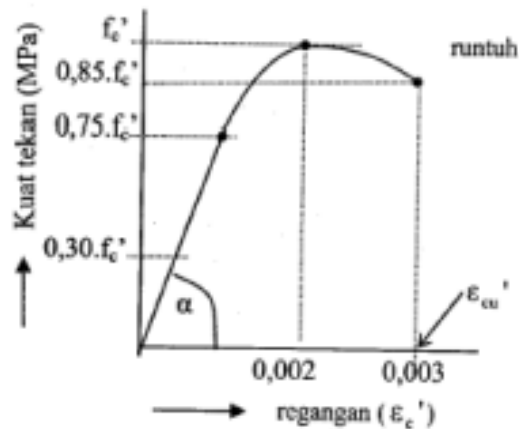
Akibat beban P (tekanan pada beton) mengakibatkan bentuk fisik sampel uji beton berubah menjadi lebih pendek, sehingga timbul regangan pada beton ( $\epsilon_c'$ ), berikut rumus regangan pada beton persamaan 19:

$$\epsilon_c' = \Delta L / L_0 \dots\dots\dots (9)$$

$\epsilon_c'$  = regangan tekan beton

$\Delta L$  = perpendekat beton (mm)

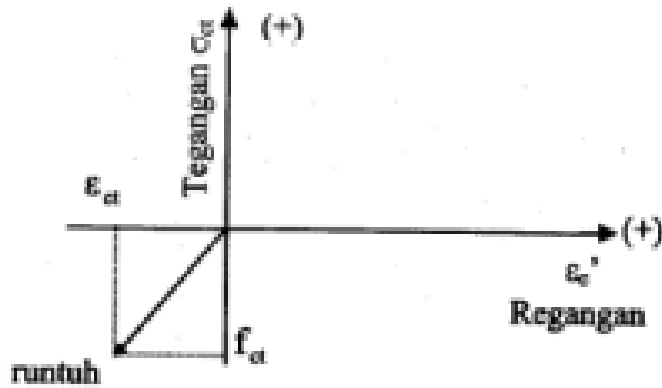
$L_0$  = tinggi awal silinder (mm)



**Gambar 6** Hubungan tegangan dan regangan tekan beton

2. Kuat Tarik Beton

Perilaku beton pada saat diberikan beban aksial tarik agak sedikit berbeda dengan perilakunya pada saat diberikan beban tekan. Hubungan antara tegangan dan regangan tarik beton umumnya bersifat linear sampai terjadinya retak yang biasanya diikuti oleh keruntuhan beton, seperti gambar berikut:



**Gambar 7** Hubungan tegangan dan regangan tarik beton

Kuat tarik beton (  $f_{ct}$  ) jauh lebih kecil daripada kuat tekannya, yaitu  $f_{ct} \approx 10\%.f_c'$ . Menurut SNI 1974-2011, hubungan antara kuat tarik langsung  $f_{ct}$  terhadap kuat tekan beton  $f_c'$  dinyatakan dengan persamaan 10 berikut :

$$f_{ct} = 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (10)$$

3. Modulus Elastisitas Beton

Dari hubungan tegangan – regangan tekan beton pada Gambar 2, terlihat sudut  $\alpha$  yaitu sudut antara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan tekan sebesar  $0,45.f_c'$  dan regangan  $\epsilon_c'$ . Modulus elastisitas beton (  $E_c$  ) merupakan tangens dari sudut  $\alpha$  tersebut. Menurut SNI 03-2487-2019, modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) dapat ditentukan berdasarkan berat beton normal  $W_c$  dan kuat tekan beton  $f_c'$ , dengan persamaan 11:

$$E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (11)$$

Untuk beton normal, nilai  $E_c$  boleh diambil pada persamaan 12 berikut :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c} \dots\dots\dots (12)$$

#### 4. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas.

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat lentur beton dengan 2 titik pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan 13:

$$f = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \dots \dots \dots (13)$$

2. Untuk Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan 14:

$$f = \frac{3 P \cdot a}{b \cdot h^2} \dots \dots \dots (14)$$

Dengan:

f = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang dilanjutkan oleh mesin uji ( pembacaan dalam ton sampai 3 angka dibelakang koma)

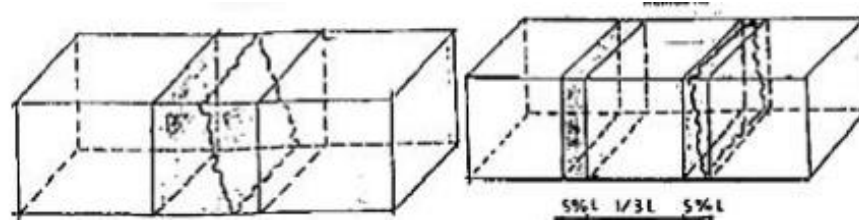
L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sisi titik dari bentang (m).

3. Untuk benda uji yang patahnya di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak dipergunakan.

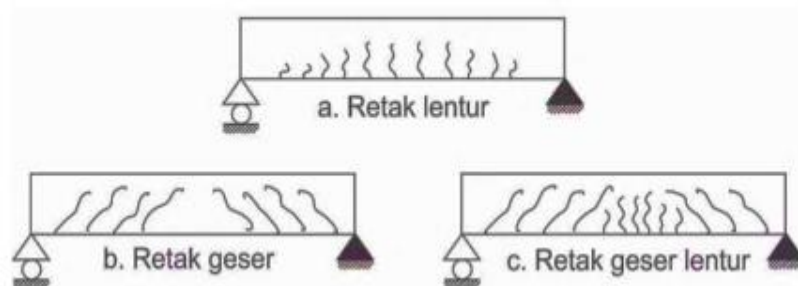


**Gambar 8** Daerah patah pada balok uji

(sumber : SNI 03-4431-2011)

### II.3.5 Pola Retak Balok

Melihat pola keretakan yang terjadi pada balok beton bertulang dapat mengidentifikasi kegagalan yang terjadi pada balok tersebut. Pada umumnya, terdapat 2 jenis tipe kegagalan yaitu kegagalan lentur dan kegagalan geser. Kegagalan lentur ditandai dengan keretakan yang terjadi pada tepi bawah balok karena tepi bawah balok merupakan bagian yang tertarik dan kemudian keretakan tersebut akan menyebar kebagian tekan balok. Kegagalan geser ditandai dengan adanya keretakan disekitar daerah tumpuan yang membentuk sudut. Kegagalan geser ini diakibatkan karena kurangnya tulangan geser pada balok tersebut.



**Gambar 9** Ilustrasi retak lentur dan retak geser balok

(sumber: Yanny, 2018)

Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang tulangan tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan.



Apabila struktur dibebani dengan suatu beban yang menimbulkan momen lentur masih lebih kecil dari momen retak maka tegangan yang timbul masih lebih kecil dari *modulus of rupture* beton  $f_r = 0,70 \sqrt{f'_c}$ . Apabila beban ditambah sehingga tegangan tarik mencapai  $f_r$ , maka retak kecil akan terjadi. Apabila tegangan tarik sudah lebih besar dari  $f_r$ , maka penampang akan retak. Ada tiga kasus yang dipertimbangkan dalam masalah retak yaitu:

1. Ketika tegangan tarik  $f_t < f_r$ , maka penampang dipertimbangkan untuk tidak terjadi retak. Untuk kasus ini  $I_g$  dapat dihitung dengan persamaan 15 dibawah ini:

$$I_g = 1/12 b \cdot h^3 \dots\dots\dots(15)$$

2. Ketika tegangan tarik  $f_t = f_r$ , maka retak mulai timbul. Momen yang timbul disebut momen retak dan dihitung dengan persamaan 16 berikut:

$$M_{cr} = f_r I_g / c, \text{ dimana } c = h/2 \dots\dots\dots(16)$$

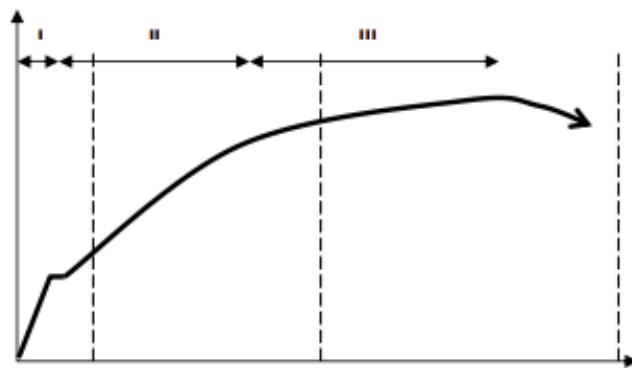
3. Apabila momen yang bekerja sudah lebih besar dari momen retak, maka retak penampang sudah meluas. Untuk perhitungan digunakan momen inersia retak ( $I_{cr}$ ), transformasi balok beton yang tertekan dan transformasi dari tulangan n.As.

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990):

- a. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok .
- b. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil .
- c. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.

### II.3.6 Hubungan Beban-Lendutan

Hubungan beban-defleksi balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear sebelum terjadi *rupture* seperti pada diagram Gambar (Nawy, 2003):



**Gambar 10** Hubungan antara beban dan lendutan

(Sumber : Nawy, 2003)

1. Daerah I: Taraf praretak, dimana batang-batangnya strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari kurva beban-defleksi berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok lebih kecil dari kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari modulus *rupture* ( $f_r$ ) beton.
2. Daerah II: Taraf beban pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Balok pada tumpuan sederhana retak akan terjadi semakin lebar pada daerah lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur maka kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekakuan lentur penampang telah berkurang sehingga kurva beban-defleksi di daerah ini akan semakin landai dibanding pada taraf praretak. Momen inersia retak disebut  $I_{cr}$ .
3. Daerah III: Taraf retak pasca-*serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh lebih datar dibanding daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika beban terus ditambah, maka regangan  $\epsilon_s$  pada tulangan sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya  $\epsilon_y$  tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah

runtuh secara struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa adanya penambahan beban dan retaknya semakin terbuka sehingga garis netral terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan sekunder yang mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya *rupture*.