

TESIS

**Studi Perilaku Lentur Balok Tulangan Bambu Takikan Sejajar Tipe V dengan
Variasi *Overlapping***

*Study of Flexural Behavior of V-Type Parallel Notch Bamboo Reinforcement
Beams with Variation of Overlapping*

NASRUN SIBELA

D012212009



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

PENGAJUAN TESIS

**STUDI PERILAKU LENTUR BALOK TULANGAN BAMBU TAKIKAN
SEJAJAR TIPE V DENGAN VARIASI *OVERLAPPING***

Tesis

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

Disusun dan diajukan oleh:

NASRUN SIBELA

D012212009

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

TESIS**STUDI PERILAKU LENTUR BALOK TULANGAN
BAMBU TAKIKAN SEJAJAR TIPE V DENGAN
VARIASI *OVERLAPPING*****NASRUN SIBELA
D012212009**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 20 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin., ST., MT
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

**PERYATAAN KEASLIAN TESIS
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nasrun Sibela
Nomor Induk Mahasiswa : D012212009
Program Studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “STUDI PERILAKU LENTUR BALOK TULANGAN BAMBU TAKIKAN SEJAJAR TIPE V DENGAN VARIASI *OVERLAPPING*” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing yang terdiri dari Prof. DR. Ing. Ir. Herman Parung, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing pertama dan DR. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua. Tesis ini belum pernah diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun dan kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks yang tercantum dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah diterima untuk dipublikasikan di jurnal Internasional bereputasi scopus yaitu DESIGN ENGINEERING, Issue: 1 | Pages: 322 - 331, ISSN: 0011-9342|Year 2023 sebagai artikel dengan judul “PENGARUH KEKUATAN LEKAT TULANGAN BAMBU TAKIKAN TIDAK SEJAJAR TIPE TRAPEZIUM TERHADAP BETON SCC”.

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

Makassar, 17 Juli 2023

Penulis



Nasrun Sibela

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT sebagai Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan naskah tesis dengan judul “**Studi Perilaku Lentur Balok Tulangan Bambu Takikan Sejajar tipe V dengan Variasi *Overlapping***” dengan baik dan berjalan lancar. Penelitian dan penyusunan tesis ini merupakan salah satu persyaratan mutlak yang harus penulis penuhi untuk menyelesaikan pendidikan program studi magister Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyadari sepenuhnya dalam penelitian dan penulisan naskah tesis ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan, arahan, dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini perkenankan penulis dengan segala kerendahan hati ingin menyampaikan menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orang tua, Mona Sibela ibunda tercinta dan almarhum Abbah Tahir Sibela atas kasih sayang, pengorbanan dukungan dan doanya.
2. **Bapak Prof. DR.Eng. M. Isran Ramli, S.T., M.T.** Selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. DR.Eng. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng.** Selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak DR Muhammad Asad Abdulrahman, S.T., M.Eng., PM.** Selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. **Bapak Prof. DR.Eng. Ir. Herman Parung, S.T., M.Eng.** Selaku dosen pembimbing utama (satu) yang berkenan memberikan tambahan ilmu solusi dan *advice* pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penyusunan naskah tesis ini.
6. **Bapak DR.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.** Selaku dosen pembimbing kedua sekaligus sebagai kepala laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang berkenan memberikan

tambahan ilmu, solusi dan *advice* pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penyusunan naskah tesis ini.

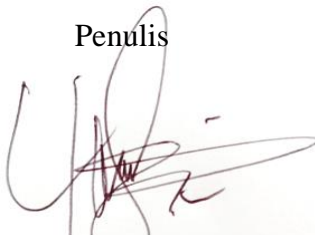
7. Para dosen penguji **Bapak Prof. DR. Ir. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng, DR.Eng. Rita Irmawaty, S.T., M.T.** sekaligus sebagai penasehat akademik saya di program studi magister teknik sipil Universitas Hasanuddin dan **Bapak DR.Eng. Akbar Caronge, S.T., M.Eng.**, yang sejak awal dengan sangat cermat memberikan saran, sanggahan dan kritik demi kesempurnaan pelaksanaan penelitian dan penyusunan naskah tesis ini.
8. Seluruh staf dan dosen pengajar Fakultas Teknik terkhusus Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, atas ilmu pengetahuan dan didikan yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi di Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
9. Tesis ini dengan kupersembahkan untuk istri saya Sri Wahyuni, S.Pd., M.Pd., dan kedua anak Muh. Dzarfan Faizan Sibela bersama Dwi Maharani Sibela yang sangat saya cintai, selalu menemani, mensupport dan mendoakan saya hingga saat ini.
10. Kepada nenek saya Talha Din, kakek saya Nasir Sibela, paman saya Basri Sibela, Badri Sibela, S.Pd., Bahar Sibela, S.H. dan Bibi saya Marni Sibela yang selalu memberi dukungan kepada saya baik secara moril, materil dan doa selama ini.
11. Adik-adik saya tercinta Nona Sibela, Nurma Sibela, Armila Sibela, Fadil dan Faris yang selalu menaruh atensi dan mensupport saya dalam setiap keputusan.
12. Saudara Muhammad Nur Fajar, S.T., M.T., dan saudari Herlina Arifin, S.T., M.T, sebagai rekan saya dalam kegiatan penelitian di tim S2 di laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
13. Teman-teman Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur angkatan 2022 yang telah kebersamai selama proses penelitian baik di laboratorium maupun di mukim Yusril, Malsi, Ius, Nadia, Asih, Mega, Sukma, Eka, Haslinda, Muh. Sadikin, Dwi, Atar, Riki dan Yana terima kasih telah begitu banyak membantu dalam setiap proses penelitian ini.

14. Seluruh teman-teman program studi magister Teknik Sipil angkatan 2021 gelombang kedua saya ucapkan terima kasih atas kebersamaannya selama dibangku kuliah.

Semoga Allah SWT sebagai Tuhan Yang Maha Esa, membalas segala kebaikan pihak-pihak -pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan naskah tesis ini. Akhir kata, penulis mengharapkan tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pemgetahuan, teknologi dan peradaban ummat manusia. Terima kasih

Makassar, 17 Juli 2023

Penulis



Nasrun Sibela

ABSTRAK

NASRUN SIBELA. *Studi Perilaku Lentur Balok Tulangan Bambu Takikan Sejajar Tipe V dengan Variasi Overlapping* (dibimbing oleh **Herman Parung, A. Arwin Amiruddin**)

Aplikasi beton sebagai material konstruksi tidak terlepas dari pemakaian baja sebagai tulangan namun, pada kenyataannya terdapat banyak problem dalam pemakaian baja tulangan misalnya biaya mahal, material tidak dapat diperbaharui, tidak ramah lingkungan, produksinya mengkonsumsi banyak energi dll. Olehnya perlu dilakukan upaya alternatif mencari pengganti material baja dengan memanfaatkan bambu sebagai tulangan. Karena panjang tulangan yang terbatas kerap terjadi penyambungan. Sehingga penelitian ini bertujuan mengetahui dan menganalisa bagaimana kapasitas perilaku lentur balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan variasi sambungan *overlapping*. Bambu yang digunakan adalah *Gigantochloa Atter Kurz* dari Kabupaten Gowa dan sekitarnya, tulangan bambu diberi takikan sejajar tipe V dengan jarak takikan 20 mm dan 40 mm. Jumlah benda uji balok sebanyak 12 buah dan setiap variasi benda uji berjumlah 2 buah terdiri balok BN20, BO20-40D, BO20-60D, BN40, BO40-40D dan BO40-60D dengan ukuran 150x200x3000 mm. Metode pengujian menggunakan model pembebanan *two point load*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok tulangan bambu dengan jarak takikan 20 mm menggunakan sambungan *overlap* memiliki kapasitas lentur lebih besar dibanding balok tulangan bambu dengan jarak takikan 40 mm, nilai persentase kenaikan rata-rata sebesar 20,25%. Kapasitas perilaku lentur balok *overlap* 400 mm dengan variasi jarak takikan 20 mm dan 40 mm mengalami penurunan kapasitas dengan persentase nilai penurunan berturut-turut 3,85% dan 3,66%, tidak terjadi perbedaan signifikan dibandingkan balok normal. Pada benda uji dengan *overlap* 600 mm mengalami kenaikan kapasitas lentur dengan nilai persentase kenaikan sebesar 36,76% dan 28,63% untuk setiap variasi benda uji. Berdasarkan pengamatan pola retak dan model keruntuhan yang terjadi pada ke 12 benda uji balok mengalami retak lentur dan model keruntuhan yang terjadi adalah *Ductile Failure*.

Kata Kunci: Tulangan Bambu, Perilaku Lentur Balok, *Overlapping*

ABSTRACT

NASRUN SIBELA. *Study of Flexural Behavior of V-Type Parallel Notch Bamboo Reinforcement Beams with Variation of Overlapping* (supervised by **Herman Parung, A. Arwin Amiruddin**)

Steel reinforcement is an essential element of using concrete as a building material. However, using reinforcing steel really has a number of drawbacks, such as being costly, being a non-renewable resource, being unfriendly to the environment, requiring a lot of energy to produce, etc. As therefore, alternative efforts must be made to identify a material that can replace steel by utilising bamboo as reinforcement. Slicing often occurs as a result of the reinforcement's limited length. Therefore, the purpose of this research is to determine and analyse the capability for flexural behaviour of bamboo reinforcement beams with V-type parallel notches and varying *overlapping* joints. The bamboo used is *Gigantochloa Atter Kurz* from the Gowa Regency and its surrounds. Type V parallel notches with notches spaced at 20 mm and 40 mm get used to the bamboo reinforcement. There are 12 test specimens total, with each variation of the test object consisting of two BN20, BO20-40D, BO20-60D, BN40, BO40-40D, and BO40-60D beams with dimensions that are 150x200x3000 mm. The test method utilises of a two-point load model. According to the test results, bamboo reinforcing beams with *overlapping* joints with a 20 mm notch spacing had a higher flexural capacity than bamboo reinforcing beams with a 40 mm notch spacing, with an average increase of 20,25%. The flexural behaviour capacity of 400 mm *overlapping* beams with variations in notch spacing of 20 mm and 40 mm saw a reduction in capacity with a percentage reduction value of 3.85% and 3.66% correspondingly, there was no appreciable difference from normal beams. With a percentage increase of 36.76% and 28.63% for each variant of the specimen, the specimen with 600 mm *overlap* saw an improvement in flexural capacity. Based on the observation of the crack pattern and the failure model that display in the 12 test items, it was determined that the beam suffered a flexural rupture and that the failure model was *Ductile Failure*.

Keywords: Bamboo reinforcement, flexural behavior of beams, *Overlapping*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Batasan Masalah.....	6
1.5. Manfaat Penulisan	7
1.6. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II	9
TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Penelitian Sebelumnya	9
2.2. Sambungan Tulangan	11
2.2.1. Sambungan Tulangan Tarik.....	13
2.2.2. Sambungan Tulangan Tekan	13
2.3. Perilaku Keruntuhan Pada Sambungan Lewatan	14
2.4. Bambu	16
2.4.1. Pengertian Bambu	16
2.4.2. Keunggulan Bambu	20

2.4.3.	Sifat-Sifat bambu.....	20
2.4.4.	Tipe Takikan Bambu	24
2.5.	Beton.....	26
2.5.1.	Kuat Tekan Beton.....	29
2.5.2.	Modulus Elastisitas Beton	31
2.5.3.	Retak Pada Balok	32
2.6.	Desain Kapasitas Struktur terhadap lentur.....	33
2.6.1.	Lentur Pada Balok	33
2.6.2.	Keruntuhan Lentur	34
2.6.3.	Kekakuan Balok	37
2.6.4.	Lendutan Pada Balok.....	37
BAB III.....		39
METODELOGI PENELITIAN		39
3.1.	Bagan Alir Penelitian (<i>Flow Chart</i>)	39
3.2.	Estimasi Waktu Penelitian.....	40
3.3.	Standar Pengujian.....	41
3.4.	Benda Uji	41
3.5.	Persiapan Alat Uji	47
3.6.	Alat dan Bahan.....	48
3.6.1.	Alat Penelitian	48
3.6.2.	Bahan Penelitian.....	49
BAB IV		50
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		50
4.1.	Hasil Uji Karakteristik Material.....	50
4.1.1.	Karakteristik Agregat.....	50
4.1.2.	Karakteristik Bambu	50
4.2.	Hasil Uji Mekanis Material	51
4.2.1.	Kuat Tarik Bambu	51
4.2.2.	Uji Kuat Tekan Beton.....	52
4.2.3.	Uji Kekuatan Tarik Belah Beton	53
4.2.4.	Uji Kuat Lentur Beton Normal	55

4.3.	Perilaku Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Takikan Sejajar Type V dengan jarak antara takikan 20 mm dan 40 mm	56
4.3.1.	Hubungan beban dan lendutan Balok Beton Tulangan Bambu jarak antara takikan 20 mm.....	58
4.3.2.	Hubungan beban dan regangan Beton Tulangan Bambu jarak antara takikan 20 mm	64
4.3.3.	Hubungan beban dan lendutan Balok Beton Tulangan Bambu jarak antara takikan 40 mm.....	72
4.3.4.	Hubungan beban dan regangan Beton Tulangan Bambu jarak antara takikan 40 mm	78
4.4.	Pola retak dan model kegagalan Balok Beton Tulangan Bambu Takikan Sejajar Type V dengan jarak antara takikan 20 mm dan 40 mm	85
4.4.1.	Pola retak dan model kegagalan (failure modes) balok beton tulangan bambu takikan Tipe V jarak antara takikan 20 mm.....	86
4.4.2.	Pola retak dan model kegagalan (failure modes) balok beton tulangan bambu takikan Tipe V jarak antara takikan 40 mm.....	92
4.4.3.	Analisis penyaluran tegangan tarik pada tulangan takikan bambu.....	98
4.4.4.	Kekakuan benda uji	100
4.5.	Perbandingan hasil pengujian.....	103
4.6.	Kebaruan penelitian.....	107
BAB V.....		109
PENUTUP.....		109
5.1.	Simpulan	109
5.2.	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		111
DAFTAR LAMPIRAN.....		112
DOKUMENTASI PENELITIAN		112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Contoh jenis takikan pada bambu.....	3
Gambar 2 Ilustrasi penempatan sambungan Overlap.....	4
Gambar 3 Gaya transfer dan retak pada sambungan lewatan.....	15
Gambar 4 Keruntuhan tarik dan tekan pada beton	16
Gambar 5 Bambu Buluh Pring (<i>Gigantochloa Atter Kurz</i>), Gowa	17
Gambar 6 Diagram Tegangan–Regangan Bambu dan Baja.....	19
Gambar 7 Tipe Takikan Bambu	25
Gambar 8 Detail Takikan Tipe V	25
Gambar 9 Grafik umur kuat tekan beton.....	30
Gambar 10 Hubungan tegangan dan regangan tekan beton	31
Gambar 11 Distribusi regangan penampang balok ultimit.....	31
Gambar 12 Jenis retak pada Beton	33
Gambar 13 Bentuk Pembebanan Dalam Keadaan Lentur Murni	34
Gambar 14 Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan lentur.....	36
Gambar 15 Hubungan Beban Lendutan Pada Balok.....	38
Gambar 16 Bagan Alir penelitian.....	40
Gambar 17 Ilustrasi Benda Uji.....	43
Gambar 18 Desain tulangan Sampel balok tipe BN20 & BN40	43
Gambar 19 Potongan A Penampang Balok BN20 & BN40.....	44
Gambar 20 Desain tulangan balok tipe BO20-40D dan BO40-40D	44
Gambar 21 Desain tulangan balok tipe BO20-60D dan BO40-60D	45
Gambar 22 Potongan A Penampang Balok BO20-40D, BO20-60D, BO40-40D dan BO40-60D.....	45
Gambar 23 Potongan B Penampang Balok BO20-40D, BO20-60D, BO40-40D dan BO40-60D.....	46
Gambar 24 Detail Takikan Sejajar Tipe V jarak takikan 20 mm dan 40 mm yang digunakan pada benda uji.....	46
Gambar 25 Model Pengujian tampak depan	47

Gambar 26 Model Pengujian tampak samping	48
Gambar 27 Ilustrasi Pembebanan <i>Two Point Load</i>	48
Gambar 28 Proses pengukuran kadar air bambu	51
Gambar 29 Proses pengujian kuat tarik bambu	52
Gambar 30 Pengujian Kuat Tekan Beton pada umur 28 hari	53
Gambar 31 Proses Pengujian tarik belah Beton pada umur 28 hari	54
Gambar 32 Proses Pengujian Kekuatan Lentur Balok pada umur 28 hari	55
Gambar 33 Grafik hubungan Beban dan lendutan benda Uji BN20	59
Gambar 34 Grafik hubungan Beban dan lendutan benda Uji BO20-40D	61
Gambar 35 Grafik hubungan Beban dan lendutan benda Uji BO20-60D	63
Gambar 36 Diagram distribusi regangan beton dan tulangan pada kondisi crack dan ultimate balok BN20	64
Gambar 37 Grafik Beban-Regangan Beton Balok Bambu Takikan 20 mm tipe BN20	65
Gambar 38 Grafik Beban-Regangan Tulangan Bambu Takikan 20 mm tipe BN20	66
Gambar 39 Diagram distribusi regangan beton dan tulangan pada kondisi crack dan ultimate balok BO20-40D	67
Gambar 40 Grafik Beban-Regangan Beton Balok tulangan Bambu Takikan 20 mm dengan overlap 400 mm tipe BO20-40D	68
Gambar 41 Grafik Beban-Regangan tulangan Bambu Takikan 20 mm dengan overlap 400 mm tipe BO20-40D	68
Gambar 42 Diagram distribusi regangan beton dan tulangan pada kondisi crack dan ultimate balok BO20-60D	70
Gambar 43 Grafik Beban-Regangan Beton Balok tulangan Bambu Takikan 20 mm dengan overlap 600 mm tipe BO20-60D	70
Gambar 44 Grafik Beban-Regangan tulangan Bambu Takikan 20 mm dengan overlap 600 mm tipe BO20-60D	71
Gambar 45 Grafik hubungan Beban dan lendutan benda Uji BN40	73
Gambar 46 Grafik hubungan Beban dan lendutan benda Uji BO40-40D	75
Gambar 47 Grafik hubungan Beban dan lendutan benda Uji BO40-60D	77

Gambar 48 Diagram distribusi regangan beton dan tulangan pada kondisi crack dan ultimate balok BN40	78
Gambar 49 Grafik Beban-Regangan Beton Balok tulangan Bambu Takikan 40 mm tipe BN40	79
Gambar 50 Grafik Beban-Regangan tulangan Bambu Takikan 40 mm tipe BN40 ..	80
Gambar 51 Diagram distribusi regangan beton dan tulangan pada kondisi crack dan ultimate balok BO40-40D.....	81
Gambar 52 Grafik Beban-Regangan Beton Balok tulangan Bambu Takikan 40 mm dengan overlap 400 mm tipe BO40-40D	82
Gambar 53 Grafik Beban-Regangan Beton Balok tulangan Bambu Takikan 40 mm dengan overlap 400 mm tipe BO40-40D	82
Gambar 54 Diagram distribusi regangan beton dan tulangan pada kondisi crack dan ultimate balok BO40-60D.....	83
Gambar 55 Grafik Beban-Regangan Beton Balok tulangan Bambu Takikan 40 mm dengan overlap 600 mm tipe BO40-60D	84
Gambar 56 Grafik Beban-Regangan Beton Balok tulangan Bambu Takikan 40 mm dengan overlap 600 mm tipe BO40-60D	85
Gambar 57 Pola Retak Benda Uji BN20.....	87
Gambar 58 kondisi benda Uji BN20 <i>pasca</i> pengujian	87
Gambar 59 Pola Retak Benda Uji BO20-40D.....	88
Gambar 60 kondisi benda Uji BO20-40D <i>pasca</i> pengujian	89
Gambar 61 Pola Retak Benda Uji BO20-60D.....	90
Gambar 62 kondisi benda Uji BO20-60D <i>pasca</i> pengujian.....	91
Gambar 63 Pola Retak Benda Uji BN40.....	93
Gambar 64 Kondisi benda Uji BN40 <i>pasca</i> pengujian	93
Gambar 65 Pola Retak Benda Uji BO40-40D.....	95
Gambar 66 Kondisi benda Uji BO40-40D <i>pasca</i> pengujian.....	95
Gambar 67 Pola Retak Benda Uji BO40-60D.....	97
Gambar 68 Kondisi benda Uji BO20-60D <i>pasca</i> pengujian.....	97

Gambar 69 Histogram nilai kekakuan variasi benda uji dengan jarak takikan 20 mm	101
Gambar 70 Histogram nilai kekakuan variasi benda uji dengan jarak takikan 40 mm	103
Gambar 71 Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Seluruh Variasi benda Uji	104
Gambar 72 Kurva Hubungan Beban dan Regangan beton balok tulangan bambu seluruh Variasi benda Uji.....	106
Gambar 73 Kurva Hubungan Beban dan Regangan tulangan bambu seluruh Variasi benda Uji.....	107

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kelas Sambungan lewatan dalam kondisi tarik.....	13
Tabel 2 Berat Jenis Dari 6 Jenis Bambu (gr/cm ²).....	18
Tabel 3 Kuat Tarik Bambu Kering Oven	19
Tabel 4 Rincian Sampel Uji	41
Tabel 5 Hasil Pengujian Kadar Air Bambu	50
Tabel 6 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Bambu	51
Tabel 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	52
Tabel 8 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Belah	54
Tabel 9 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Balok.....	55
Tabel 10 Hubungan Beban dan lendutan balok tulangan bambu normal (BN20)	58
Tabel 11 Hubungan Beban dan lendutan balok tulangan bambu <i>overlap</i> 400 mm dengan jarak antara takikan 20 mm (BO20- 40D).....	60
Tabel 12 Hubungan Beban dan lendutan balok tulangan bambu <i>overlap</i> 600 mm dengan jarak antara takikan 20 mm (BO20- 60D).....	62
Tabel 13 pengujian rengangan beton tulangan bambu balok jenis BN20	64
Tabel 14 pengujian rengangan beton tulangan bambu balok tipe BO20-40D	66
Tabel 15 pengujian rengangan beton tulangan bambu balok tipe BO20-60D:	69
Tabel 16 Hubungan Beban dan lendutan balok tulangan bambu normal (BN40)	72
Tabel 17 Hubungan Beban dan lendutan balok tulangan bambu <i>overlap</i> 400 mm dengan jarak antara takikan 40 mm (BO20- 40D).....	74
Tabel 18 Hubungan Beban dan lendutan balok tulangan bambu <i>overlap</i> 600 mm dengan jarak antara takikan 40 mm (BO40- 60D).....	76
Tabel 19 pengujian rengangan beton tulangan bambu balok jenis BN40:.....	78
Tabel 20 pengujian rengangan beton tulangan bambu balok jenis BO40-40D:.....	80
Tabel 21 pengujian rengangan beton tulangan bambu balok jenis BO40-60D:.....	83
Tabel 22 Hasil analisis tegangan tarik pada balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V jarak takikan 20 mm.....	99

Tabel 23 Hasil analisis tegangan tarik pada balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V jarak takikan 40 mm.....	99
Tabel 24 Perhitungan nilai kekakuan balok normal, overlap 40D dan overlap 60D dengan jarak takikan 20 mm	100
Tabel 25 Perhitungan nilai kekakuan balok normal, overlap 40D dan overlap 60D dengan jarak takikan 40 mm	102
Tabel 26 Perbandingan persentase kapasitas seluruh variasi benda Uji.....	104

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
f_c	: Kekuatan Tekan Beton (MPa)
P	: Beban (N)
A	: Luas Area Penampang (mm ²)
ϵ_c	: Regangan Tekan Beton
ϵ_s	: Regangan tarik Baja
ΔL	: Perpendekan Beton (mm)
Δ	: Simpangan/Displacement (mm)
L_o	: Tinggi Awal Silinder (mm)
E_c	: Modulus Elastisitas Beton
D	: Diameter Tulangan (mm)
KA	: Kadar Air Bambu (%)
BA	: Berat Bambu Sebelum di Oven (gr)
BKT	: Berat Bambu Setelah di Oven (gr)
BJ	: Berat Jenis Bambu (gr)
M_u	: Momen Ultimate (kN.m)
M_n	: Momen Nominal (kN.m)
M_{cr}	: Momen Retak Awal (kN.m)
P_u	: Beban Ultimate (kN)
P_{cr}	: Beban Retak Awal (kN)
γ_w	: Berat Air (gr)
$f_{t//}$: Kekuatan Tarik Sejajar Serat (MPa)
δ	: Lendutan (mm)
L_d	: Panjang Batang Penyaluran
f_y	: Tegangan Leleh Tulangan
P_{maks}	: Gaya Tekan Maksimal (N)
$\sigma_{tk//}$: Kuat Tekan Sejajar Serat (MPa)
S_{cr}	: Nilai Lendutan Saat Retak Awal (mm)

W_c	: Berat Jenis Beton Normal (kN)
$\rho_{balanced}$: Kondisi Keruntuhan Seimbang
ϵ_y	: Regangan Leleh Baja
b	: Lebar Penampang (mm)
h	: Tinggi Penampang (mm)
f_s	: Tegangan tarik langsung pada tulangan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dan penggunaan konstruksi beton bertulang di lapangan saat ini tidak terlepas dari jumlah pemakaian material baja sebagai tulangan. Hal ini ternyata menimbulkan permasalahan yaitu baja yang merupakan material yang terbuat dari bijih besi dan diperoleh dari hasil tambang adalah material yang tidak dapat diperbaharui sehingga keberadaannya dialam suatu saat akan habis. Dalam upaya mencari solusi alternatif, maka para ahli struktur mulai melakukan inovasi penelitian seperti yang dilakukan oleh Morisco pada tahun 1996, dengan meneliti kemungkinan penggunaan bahan lain, yaitu dengan memanfaatkan bambu sebagai tulangan beton.

Bambu dikenal sebagai bahan yang ulet, memiliki kekuatan tarik jauh lebih tinggi daripada kayu, bahkan dari penelitian Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) UGM diketahui kuat tarik kulit bambu petung setara dengan kuat tarik baja mutu sedang yang bisa digunakan oleh masyarakat sebagai tulangan beton. Bambu merupakan salah satu alternatif pengganti tulangan baja pada beton sangat menarik untuk diteliti dikarenakan dari segi kekuatan. Kekuatan tarik bambu sejajar serat berkisar 200 - 300 MPa, kekuatan lentur rata-rata 84 MPa dan modulus elastisitas 18.575 MPa serta berat jenisnya 600 kg/m^3 dimana berat jenis tersebut lebih ringan daripada berat baja (Rittironk dan Elnieiri, 2008). Bambu memiliki ketahanan terhadap gaya lentur, hal ini dikarenakan batang bambu memiliki serat yang sejajar. Serat tersebut memungkinkan bambu dapat menahan lendutan yang lebih besar. Maka bambu menjadi pilihan utama dikarenakan material bambu adalah salah satu material yang mudah diperoleh dan pertumbuhannya di alam cukup cepat yang menjadikannya sebagai material hemat energi, ramah lingkungan dan dapat mereduksi *global warming* sedangkan baja harus dibuat dalam proses pabrik dan membutuhkan energi yang cukup besar. Jika dibandingkan dengan penggunaan baja sebagai tulangan, penggunaan bambu sebagai bahan bangunan dapat mengurangi energi atau sumber daya hingga 50 kali lipat. Biasanya pertimbangan dalam pemilihan material yang akan digunakan sebagai bahan

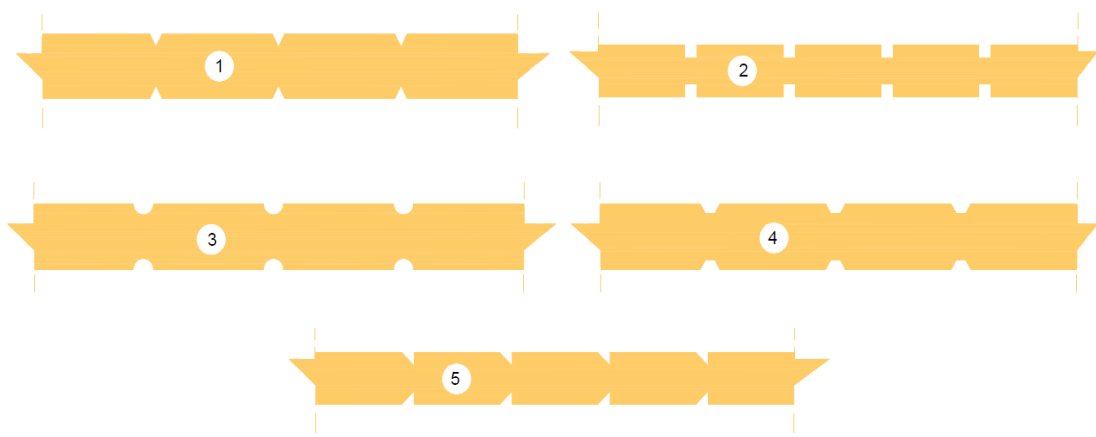
bangunan pada elemen struktur bangunan seperti kolom, balok maupun pelat didasarkan pada kekuatan material (*strength*), biaya (*budget*), nilai keindahan (estetika), kemudahan diperoleh bahan dan lain- lain sebagainya (Karyadi dkk, 2007).

Beton bertulang (*Reinforced Concrete*) adalah material komposit dimana kekuatan dan daktilitas beton yang relatif rendah sehingga perlu diimbangi dengan memasukkan tulangan yang memiliki kekuatan atau daktilitas yang lebih tinggi. Tulangan biasanya ditanamkan secara pasif pada beton sebelum dilakukan pengecoran dan biasanya sering dipakai adalah tulangan baja. Material beton memiliki kekuatan menahan tekan yang cukup tinggi namun tidak mampu menahan beban tarik dengan baik, diketahui secara teoritis kekuatan tarik beton normal hanya mencapai 9-15% dari kuat tekannya, karenanya sering kali dalam perencanaan kuat tarik beton dianggap sama dengan nol, sedangkan material baja tulangan dipasang pada daerah tarik beton karena dianggap memiliki kemampuan kuat tarik dan geser yang sangat baik serta memiliki kemampuan lentur yang lebih tinggi.

Kecocokan antara tulangan dan beton merupakan salah satu konsep desain beton bertulang. Untuk menyalurkan gaya secara tepat dari elemen ke tulangan dan beton, terjadi interaksi antara tulangan dan beton di sekitarnya. Ketika elemen dibebani, regangan (*strain*) pada tulangan dan beton diharapkan memiliki nilai yang sama secara bersamaan. Hal tersebut dimaksudkan agar tidak terjadinya diskontinuitas ataupun pemisahan dari kedua material tersebut yang dapat menurunkan kapasitas mekanis dari suatu elemen.

Daya lekatan (*Bond*) merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton bertulang. Daya lekatan dipengaruhi oleh mutu beton dan jenis tulangan serta tekstur dari permukaan tulangan, sebagaimana yang diketahui penyaluran gaya tarik yang bekerja pada balok beton disalurkan kepada tulangan sehingga ketika balok beton bertulang tersebut diberi beban tidak akan terjadi selip (tergelincir) antara tulangan dan beton dalam kondisi yang cukup besar. Oleh sebab itu, diperlukan tulangan yang mampu untuk menahan tegangan tarik dengan lekatan yang dapat bekerja secara baik sehingga aksi dari struktur komposit antara beton dan tulangan dapat bekerja dengan

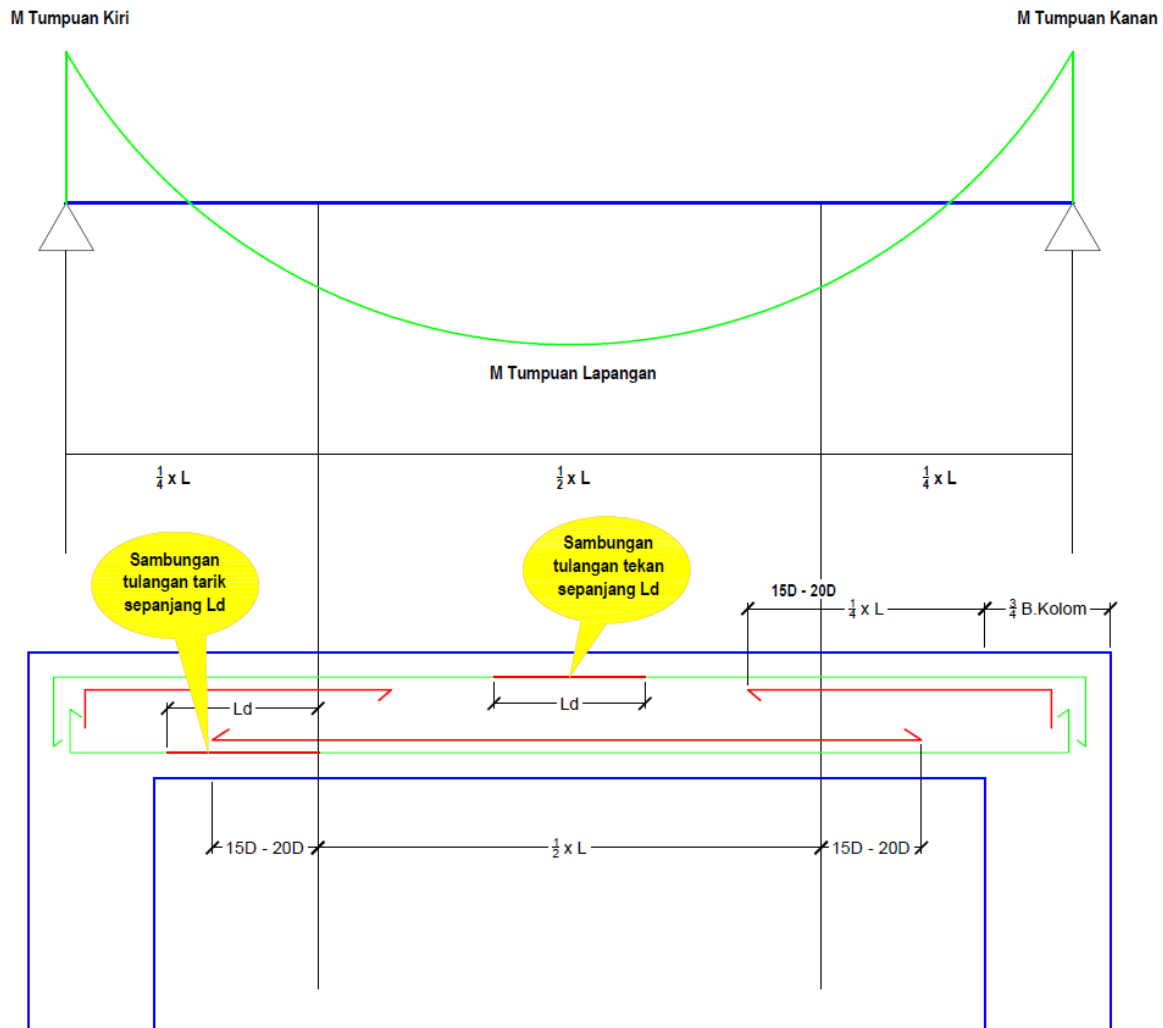
baik pula. Pada dasarnya kadar air (penyusutan) pada tulangan bambu cukup tinggi. Sehingga pada saat tertanam didalam beton akan menurunkan sifat adhesi atau lekatannya pada beton disekelilingnya sehingga untuk meningkatkan kekuatan lekatan bambu maka dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan memberi takikan pada bambu dengan tipe takikan, jarak dan dimensi yang beragam. Berikut beberapa contoh takikan yang dapat diaplikasikan pada bambu saat digunakan sebagai tulangan sebagaimana terlihat pada gambar 1:



Gambar 1 Contoh jenis takikan pada bambu

Biasanya ditemukan pada pelaksanaan dilapangan bahwa tulangan yang diperlukan lebih panjang daripada yang tersedia. Panjang untuk tulangan baja yang diproduksi oleh industri hanya ± 12 meter, sementara diketahui pohon bambu memiliki panjang atau tinggi maksimum ± 30 meter. Oleh karena dalam aplikasinya dilapangan pasti dilakukan penyambungan tulangan, proses penyambungan tulangan dapat dilakukan dengan berbagai cara. Dalam ACI 318R-05 dan peraturan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasannya SNI 2847:2019, menjelaskan bahwa sambungan yang dapat dilakukan pada tulangan yaitu sambungan lewatan Ls (*Lap splice*), sambungan las Ws (*Welded Splice*) dan sambungan mekanik (*Mechanical connections*). Namun, bambu yang digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan utama atau longitudinal, dengan membuat teknik sambungan yang menggunakan

sambungan lewatan (*lap splice*) jauh lebih layak pada tulangan yang putus daripada dua jenis sambungan lainnya. Penyambungan tulangan sebaiknya tidak diletakkan pada daerah dimana terjadi konsentrasi beban maksimum dan juga tidak terkumpul pada satu lokasi yang sama karena akan memperlemah penampang beton khususnya pada balok. Ilustrasi momen penempatan pemasangan sambungan pada struktur balok terlihat pada gambar 2 berikut:



Gambar 2 Ilustrasi penempatan sambungan *Overlap*

Secara global ketentuan tentang panjang lewatan sambungan tulangan bambu tidak memiliki standar yang baku, kecuali kayu hanya saja sifat mekanis bambu dan

kayu sangat berbeda serta kayu jarang diaplikasikan sebagai material komposit pada beton, sehingga panjang lewatan sambungan bambu tetap berpedoman pada ACI 318R-05 dan SNI 2847:2019. Dalam perencanaannya sambungan lewatan sangat berpengaruh terhadap panjang penyaluran atau panjang minimum yang tersedia. Dalam ACI 318R-05 dan SNI 2847:2019 menjelaskan bahwa nilai dari sambungan lewatan tulangan tarik memiliki nilai sebesar 1,0 Ld sambungan kelas A (untuk $f_y > 420$ MPa) dan 1,3 Ld sambungan kelas B (untuk $f_y < 420$ MPa), sementara untuk sambungan tulangan tekan untuk $f_y < 420$ MPa: $L_d \text{ min} = 0,07.f_y.d_b$ & untuk $f_y > 420$ MPa: $L_d \text{ min} = (0,13.f_y - 24) . d_b$. Namun dalam kondisi apapun sambungan tulangan tarik dan tekan tidak bisa kurang dari 300 mm. Standar panjang sambungan lewatan yang disebutkan diatas akan diaplikasikan dengan menggunakan tulangan bambu pada elemen struktur balok beton.

Berdasarkan uraian diatas, maka tesis penelitian ini dilakukan pengaplikasian tulangan bambu pada konstruksi balok beton dengan menggunakan tulangan bambu yang diberi takikan tipe V sejajar dengan variasi jarak takikan 40 mm dan 20 mm, lebar takikan 10 mm, kedalam takikan 5 mm dan lebar tulangan 25 mm. Selain itu juga dalam penelitian ini bermaksud untuk meneliti pengaruh dari panjang sambungan lewatan yang telah disyaratkan pada ACI 318R-05 dan SNI 2847:2019 dengan memperkirakan nilai pembesaran panjang penyaluran (*development length*) yang digunakan pada tulangan Bambu. Sehingga judul tesis penelitian yang akan dilakukan adalah “*Studi Perilaku Lentur Balok Tulangan Bambu Takikan Sejajar tipe V dengan Variasi Overlapping*”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dan mengingat pentingnya masalah kebutuhan sambungan panjang lewatan tulangan bambu pada beton dengan takikan sejajar tipe V dengan penerapan pada konstruksi balok lentur. Maka perumusan masalah pada penelitian yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku lentur pada konstruksi balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan variasi *Overlapping*?
2. Bagaimana pola retakan dan model keruntuhan yang terjadi pada konstruksi balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan variasi *Overlapping*?
3. Bagaimana lendutan (*deflection*) yang terjadi pada konstruksi balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan variasi *Overlapping*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka berikut tujuan penelitian yang akan dibahas pada penelitian ini:

1. Untuk menganalisa perilaku dan kapasitas lentur balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan variasi *Overlapping*,
2. Untuk menganalisa pola retakan dan model keruntuhan yang terjadi pada struktur balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan variasi *Overlapping* dan
3. Untuk menganalisa lendutan (*deflection*) yang terjadi pada balok tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan variasi *Overlapping*.

1.4. Batasan Masalah

Berikut adalah batasan-batasan dalam penelitian ini:

1. Kekuatan tekan beton yang digunakan yaitu $f'c = 25$ MPa. *Ready Mix*, Metode pengujian mengacu pada ASTM C39-86 “*Standard Test Method For Compressive Cylindrical Concrete Spesimens*” (ASTM, 1993)
2. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu Ater atau *Gigantochloa atter (Hassk) Kurz* asal Kabupaten Gowa dan sekitarnya
3. *Overlapping* tulangan bambu takikan sejajar tipe V dipasang pada sepertiga (1/3) bentang balok dengan panjang variasi tulangan *overlapping* 40D dan 60D
4. Pada umur 28 hari dilakukan uji kuat lentur rangka pembebanan statis teknik pembebanan dua titik untuk mengetahui perilaku lentur benda uji..
5. Tidak dilakukan pembahasan pengaruh akibat beban geser.

6. Penelitian ini mengabaikan atau tidak dilakukan pengamatan daya absorpsi pada bambu.

1.5. Manfaat Penulisan

Berikut adalah manfaat dari penelitian yang dilakukan:

1. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan bisa menjadi pemantik bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dibidang *Structure Engineering*, secara spesifik lagi dapat mengetahui perilaku lentur balok beton dengan tulangan bambu takikan sejajar tipe V dengan *Overlapping*.
2. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan jawaban dan informasi yang jelas atas kesimpangsiuran penggunaan bambu sebagai tulangan beton kepada masyarakat secara menyeluruh.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam tulisan ini dibagi menjadi lima bab yaitu pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian dan pelaksanaan, hasil dan pembahasan, dan yang terakhir adalah penutup, Berikut penjelasan singkat terkait masing-masing bab

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang ulasan penelitian sebelumnya terkait beton dengan tulangan bambu, penggunaan *overlapping*, teori dasar, dan yang terakhir kriteria dan konsep desain *overlapping* tulangan lentur balok beton dengan tulangan bambu.

BAB III: METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang metode dan tahapan-tahapan yang akan digunakan selama penelitian.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan penjelasan dari hasil penelitian yang dilakukan serta akan membahas hasil yang diperoleh dari penelitian untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian.

BAB V: PENUTUP

Pada bab ini akan diuraikan beberapa simpulan yang didapat dari hasil penelitian dan saran atau rekomendasi penulis untuk penelitian berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian dilakukan oleh **Heru Cahyanto** (2016), dengan judul **“Kuat lentur balok beton tulangan bambu Petung Vertikal Takikan tidak Sejajar tipe U lebar 2 cm tiap Jarak 15 cm”** memperoleh hasil sebagai berikut:

1. Beban maksimum untuk balok bertulang baja D 7,45 mm adalah 24,5 kN atau 2,5 ton, dan untuk konstruksi balok tulangan bambu petung takik tak sejajar tipe U jarak tanam 15 cm lebar 20.
2. Kekuatan lentur rerata untuk balok dengan tulangan baja sebesar 12,3693 N/mm², sedangkan struktur balok tulangan bambu takikan tipe U jarak 15 cm lebar 20 mm sebesar 5,4545 N/mm².
3. Kekuatan lentur balok tulangan bambu petung takikan tidak sejajar tipe U takikan dengan jarak 15 cm lebar 20 mm 44,1973 % dari kapasitas lentur balok beton bertulangan baja D 7,45 mm.

Berdasarkan uji eksperimental yang dilakukan **Achendri M. Kurniawan** (2016), dari tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Variasi Jarak Senggang Terhadap Kapasitas Lentur Balok beton Bertulang Bambu yang terkang pada jalur tekannya”** berikut hasil pengujian:

1. Kapasitas maksimum yang diterima balok beton bertulang bambu yang tekegang pada jalur tekannya dengan variasi jarak senggang 1,7 cm sebesar 2127,5 kg, pada variasi jarak senggang 2,5 cm adalah 1782,5 kg, pada variasi jarak senggang 5 cm sebesar 1667,5 kg, pada variasi jarak senggang 8 cm yaitu 1322,5 kg.
2. Korelasi variasi jarak senggang terhadap kapasitas lentur yang diterima oleh balok beton tukang bambu yang terkegang pada jalur tekannya yaitu semakin pendek penempatan jarak senggang maka semakin besar pula kapasitas lentur yang dapat diterima.

3. Korelasi antara variasi jarak sengkang dan simpangan (lendutan) maksimum pada balok beton bertulang bambu yang terkekang pada jalur tekannya menunjukkan bahwa semakin pendek jarak sengkang, semakin besar simpangan (lendutan) maksimum yang dapat diterima.
4. Hasil perhitungan lentur analitik lebih rendah dari hasil perhitungan lentur secara eksperimental.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh **Yusron Fadhillah Akmal** (2017), dengan judul **“Eksperimen Pengaruh Variasi Panjang Penyaluran (*Overlap*) Pada Sengkang Bambu Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulang Bambu”** memperoleh hasil sebagai berikut:

1. Kekuatan lentur balok tulangan bambu menggunakan variasi panjang *overlap* sengkang bambu seperlima ($1/5$) bentang yaitu 10,833 MPa dan panjang *overlap* sengkang bambu setengah ($1/2$) bentang yaitu 10,592 MPa.
2. Terjadi lendutan pada variasi *overlap* sengkang bambu seperlima ($1/5$) bentang yaitu 7,95 mm, untuk variasi panjang batang *overlap* sengkang tulangan bambu setengah ($1/2$) bentang yaitu 8,75 mm.
3. Pola retak yang terjadi yaitu retak lentur. Sehingga dapat disimpulkan kuat lentur, lendutan dan pola retak pada balok beton bertulang bambu menggunakan variasi sambungan *overlap* sengkang seperlima bagian dan *overlap* setengah bagian tidak memiliki perbedaan yang berarti.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu diatas maka peneliti mencoba melakukan inovasi dan melakukan pengembangan, dengan judul penelitian **“Studi Perilaku Lentur Balok Tulangan Bambu Takikan Sejajar Tipe V dengan variasi *Overlapping*”**. Dimana penggunaan tulangan bambu yang diberikan takikan sejajar tipe V dengan *overlap* atau dengan variasi panjang batang 400 mm dan 600 mm.

2.2. Sambungan Tulangan

Umumnya panjang batang baja tulangan yang tersedia dipasaran adalah 12 m, demikian halnya juga batang bambu memiliki panjang yang terbatas, meskipun panjang batang bambu lebih panjang dibanding baja tulangan, diketahui batang bambu memiliki panjang maksimum 30 m, namun terkadang kebutuhan panjang tulangan melebihi panjang tulangan yang ada sehingga mengharuskan pemakaian sambungan pada tulangan (*splices*). Panjang lewatan yang dibutuhkan mesti diperhitungkan agar menghindari terjadi keruntuhan atau kegagalan pada sambungan. Panjang batang distribusi tegangan (l_d), yang naik dengan bertambahnya beban, mempengaruhi panjang putaran yang diperlukan.

Panjang penyaluran merupakan panjang penambatan yang dibutuhkan buat membuat tegangan leleh dalam tulangan yang adalah fungsi berdasarkan tegangan leleh baja (f_y), diameter tulangan (d_b) dan tegangan lekat (Dipohusodo, 1994). Sambungan lewatan, sambungan mekanis, dan sambungan las adalah sambungan pada tulangan yang paling sering diaplikasikan. Panjang lewatan merupakan panjang minimal yang dibutuhkan tulangan, yang disambung secara *overlapping* dalam beton bertulang, supaya dapat mentransfer kekuatannya secara penuh dalam tulangan penyambungannya. Sambungan lewatan (tumpang tindih) tidak boleh ditempatkan di tempat yang memiliki momen lentur terbesar, dan juga tidak boleh terkumpul pada titik yang sama karena dapat melemahkan penampang struktur beton

Kekuatan lekat merupakan kerjasama antara tulangan dan beton dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan terpisahnya ikatan antara batang tulangan dan beton (Winter, 1993).

Kuat lekat rata-rata yang dipakai buat mengukur panjang penyaluran merupakan tegangan lekat kritis, yaitu tegangan lekat waktu beton diambang keruntuhan, bukan tegangan lekat puncak atau ultimate, yaitu tegangan lekat batas yang nilainya lebih tinggi, yang umumnya terletak didekat wilayah yang mengalami retak. (Ferguson, 1978).

Tegangan lekat kritis adalah tegangan terkecil yang mengakibatkan terjadinya selip pada tulangan yang terbebani minimal sebesar 0,25 mm (*Park and Paulay, 1975 dalam Muhammad, 2007*).

Pengujian *pull-out* dapat secara efektif membedakan antara panjang batang tertanam (*length embedment*) dan keefektifan kekuatan lekatan dari berbagai bentuk permukaan tulangan yang digunakan. Namun hasilnya belum dapat memberikan tegangan lekat sesungguhnya pada komponen atau elemen struktur. Dalam percobaan ini, beton ditekan saat baja diregangkan, dengan kedua bahan tersebut mengalami tegangan yang sama pada waktu yang sama. (*Nawy, 1990*).

Sangat penting untuk memastikan bahwa ada transfer gaya yang efisien dari satu komponen struktural ke komponen struktural lainnya agar beton bertulang berfungsi sebagai material komposit di mana tulangan baja tulangan dan beton bekerja sama secara ideal. Untuk menjamin hal tersebut diperlukan adanya ikatan yang baik antara beton dan tulangan serta selimut beton yang cukup tebal. Kedalaman tulangan baja yang ditanamkan pada beton, seperti yang ditentukan oleh panjang batang penyaluran, diperlukan agar baja tulangan dapat meneruskan beban seluruhnya pada komponen lain. (*Vis, 1993*).

Lekatan efektif antara beton dan tulangan harus dipenuhi, karena penggunaan secara efisien kombinasi tulangan dan beton tergantung pada pelimpahan tegangan beton pada besi tulangan. Kekuatan lekatan atau pengukuran efektifitas kuatnya lekatan antara beton dengan tulangan, paling baik ditentukan sebagai tegangan yang ada dimana terjadi selip yang sangat kecil atau tidak sama sekali. Lekatan awal ditahan oleh adhesi (daya perlekatan antara buah benda yang berbeda) dan daya tahan terhadap geseran. Namun, ketika terjadi geser adhesi pada tulangan hilang, oleh karena itu gaya selanjutnya secara mekanis dan oleh ketahanan komponen struktur terhadap geser dibatasi. (*Murdock dan Brook, 1991*).

Dalam ACI 318R-05 dan peraturan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasannya SNI 2847:2019, menjelaskan bahwa sambungan yang dapat dilakukan pada tulangan dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu sambungan

lewatan Ls (*Lap splice*), sambungan las Ws (*Welded Splice*) dan sambungan mekanik (*Mechanical connections*). Akan tetapi dalam penelitian ini menggunakan bambu sebagai material tulangan utama atau longitudinalnya sehingga pada kondisi tulangan yang terputus dapat menggunakan sambungan lewatan (*lap splice*) sambungan ini sangat memungkinkan untuk dapat dilakukan dibanding dengan dua tipe sambungan lainnya

2.2.1. Sambungan Tulangan Tarik

Sambungan lap Kelas A dan Kelas B adalah dua opsi untuk sambungan lap dalam kondisi tekan. Sambungan lap Kelas B tidak boleh lebih kecil dari 300 mm, dan besarnya adalah:

1. Sambungan lewatan kelas A..... 1,0 ld
2. Sambungan lewatan kelas B 1,3 Id

Tabel 1 Kelas Sambungan lewatan dalam kondisi tarik

<u>As Terpasang</u> As Perlu	Presentase Maksimum As yang disambung sepanjang Ld	
	50	100
$\geq 2,0$	Kelas A	Kelas B
$< 2,0$	Kelas B	Kelas A

Sumber: SNI 2847:2019

2.2.2. Sambungan Tulangan Tekan

Sementara untuk panjang sambungan lewatan pada kondisi tekan ditentukan dalam ACI 318M- 11 pasal 12.16 yaitu:

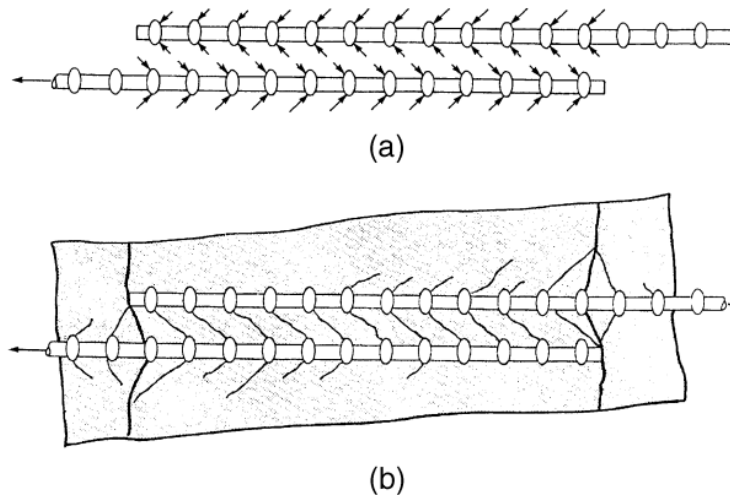
1. $ld > 0,071.f_y.d_b$ (untuk $f_y \leq 420$ MPa)
2. $ld = (0,13f_y - 24).d_b$ (untuk $f_y > 420$ MPa)

Dalam berbagai kondisi, panjang lewatan pada kondisi tekan tidak boleh kurang daripada 300 mm. Selain itu, karena beton f'_c memiliki kuat tekan kurang dari 21 MPa, maka panjang bentang pada sambungan bertambah sepertiga atau lebih..

2.3. Perilaku Keruntuhan Pada Sambungan Lewatan

Sambungan lewatan adalah salah satu metode penyambungan tulangan pada beton dengan cara memberikan *overlapping* pada tulangan yang akan disambung. Panjang *overlapping* yang memberikan kekuatan sambungan sama dengan kekuatan leleh pada tulangan dinamakan panjang lewatan. *Overlapping* antara tulangan tersebut bisa dilakukan dengan membuat jarak antar tulangan yang akan disambung, yang dinamakan *non contact lap-splice*, atau dengan cara menempelkan kedua tulangan yang akan disambung, yang dinamakan *contact lap-splice*. Pada sambungan *non contact lap-splice*, ada terdapat beton yang mengisi ruang diantara kedua tulangan. Dengan adanya beton ini maka seluruh permukaan pada setiap tulangan dapat memberikan gaya rekatan. Ini berbeda dengan kondisi jika kedua tulangan itu disambung saling bersentuhan, pada sambungan *contact lap-splice*. Permukaan tulangan yang bersentuhan tersebut secara otomatis tidak dapat terisi oleh beton akibatnya mengurangi gaya lekatan antara tulangan dan beton, terutama ialah gaya kohesinya.

Pada sambungan *overlapping*, beban dari satu batang tulangan dialihkan ke beton yang kemudian ditransfer ke tulangan di sebelahnya. Transfer beban dari satu batang baja tulangan ke tulangan berikutnya pada sambungan tanpa kontak dapat dilihat pada gambar 3a (Mac Gregor 1997). Gambar 3b menunjukkan adanya retakan internal yang terbentuk di antara kedua tulangan pada beton. Pembentukan retakan memerlukan energi yang lebih besar, yang berarti kekuatannya meningkat.



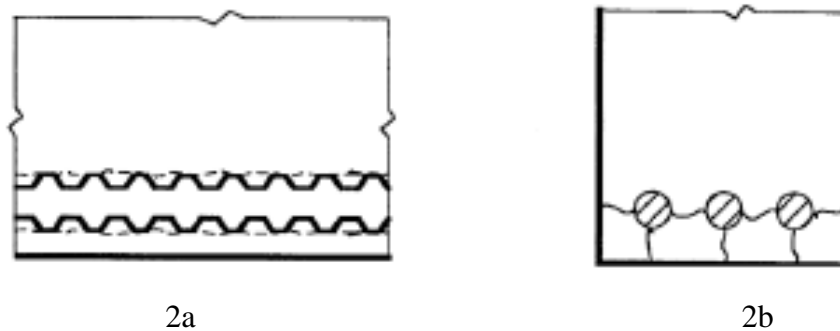
Gambar 3 Gaya transfer dan retak pada sambungan lewatan

(Sumber: Putu Deskarta dkk, 2016)

Untuk keperluan sambungan non-contact, ACI 318 memberikan batasan *space* maksimum dan minimum jarak antar tulangan yang disambung. Jarak maksimum ditentukan sebesar $1/5$ panjang lewatan untuk menjamin agar tidak terjadinya area beton yang tanpa tulangan terlalu besar. Untuk memastikan ketebalan beton yang cukup antara dua tulangan, jarak minimum ditentukan sebesar 1,5 kali diameter tulangan. Dalam penerapan dunia konstruksi sebelum tahun 1950 memakai faktor reduksi untuk sambungan kontak, maka panjang lewatan yang digunakan harus lebih besar dari yang telah ditetapkan oleh peraturan. Namun faktor ini kemudian tidak lagi digunakan pada ACI-1963 dengan tidak memberikan perbedaan antara model sambungan *non-contact* dan sambungan *contact*. Sepertinya panjang lewatan dipakai 1,3 kali panjang penyaluran telah mencakup untuk model sambungan *contact*.

Tulangan yang diberi sambung akan mengalami kegagalan atau keruntuhan sebab jika terjadinya selip yang besar pada bagian *overlapnya*. Kondisi itu terjadi akibat beban yang bekerja telah melebihi kekuatan lekatan dari tulangan dengan beton tersebut. Model keruntuhan pada sambungan lewatan secara garis besar dapat dikategorikan menjadi dua jenis keruntuhan yaitu jenis keruntuhan *pull-out*, untuk *overlapping* yang panjang batang tertanamnya pendek dan jenis keruntuhan *splitting*, untuk *overlapping* yang panjang batang tulangan tertanam panjang. Tulangan dengan

overlapping yang pendek, memiliki kecenderungan terjadi selip yang besar, karena hancurnya beton disekitar tulangan akibat beban tekan dan geser seperti yang ditunjukkan pada gambar 4a sehingga batang tulangan laksana tercabut dari dalam beton. Sementara untuk tulangan yang mempunyai *overlapping* panjang, keruntuhan terjadi akibat beton mengalami tegangan tarik secara radial yang begitu besar sehingga muncul retak yang menyebabkan tulangan kehilangan daya lekatannya sebagaimana yang diilustrasikan pada gambar 4b. Kondisi seperti ini terjadi akibat ketebalan beton antar tulangan atau dengan kata lain ketebalan selimut beton tidak memadai.



Gambar 4 Keruntuhan tarik dan tekan pada beton
(Sumber: Putu Deskarta dkk, 2016)

2.4. Bambu

2.4.1. Pengertian Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang masuk dalam ordo *Gramineae*, *familia Bambuseae*, suatu *familia Bamboidae* oleh Sharma (1987). Karena sifat mekanis dan fisiknya yang menguntungkan, seperti batang yang kuat, lurus, pipih, kokoh, mudah dibelah, dibentuk, dikerjakan, dan dibawa, bambu merupakan sumber daya alam yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat. Selain itu harga bambu juga relatif cukup murah dibandingkan material lainnya karena mudah ditemukan disekitar tempat tinggal khususnya di daerah pedesaan. Bambu menjadi tanaman multi fungsi bagi kebanyakan orang di Indonesia. Ada lebih dari 1250 jenis tanaman bambu dan lebih dari 75 negara di seluruh dunia, namun menurut Uchimura (1980), Asia Selatan dan Asia Tenggara menyumbang sekitar 80% dari bambu dunia..

Pohon bambu dapat dibagi menjadi dua kategori utama, bambu *simpodial* dan bambu *monopodial*, berdasarkan perkembangannya. Bambu *simpodial* yaitu tumbuh dalam bentuk rumpun, setiap *rhizome* hanya dapat menghasilkan satu batang bambu, bambu yang muda tumbuh mengelilingi pohon bambu tua. Satu-satunya tempat spesies ini dapat ditemukan adalah di Indonesia karena bambu *simpodial* hanya tumbuh subur di iklim tropis dan subtropis. *Rhizome* yang berkembang ke berbagai arah di bawah tanah dan muncul sebagai bambu yang berbeda dikenal sebagai bambu *monopodial*. Dari segi kekuatan, bambu memiliki kekuatan yang sangat baik, malah lebih kuat daripada kayu sebagai material bangunan berdasarkan studi yang dilakukan oleh *Building Trust*, Bambu memiliki kekuatan struktur yaitu 30 *Mega Joule*, yang setara dengan 30 juta joule. Kemudian bambu juga memiliki kelenturan batang yang sangat fleksible.



Gambar 5 Bambu Buluh Pring (*Gigantochloa Atter Kurz*), Gowa

Banyak terdapat macam pohon bambu, tetapi dari berbagai jenis itu, hanya terdapat empat macam saja yang dianggap penting sebagai jenis bambu dan yang umumnya dipasarkan di Indonesia, yakni Petung, Wulung, Tali dan Duri (Frick, 2004).

Pada umumnya batang bambu memiliki konsentrasi serat di permukaan dan di dalam masing-masing berkisar antara 40% sampai 70% dan 15% sampai 30%. Dimana serat tersebut terarah sepanjang arah sumbu batang bambu dengan diameter 0,08 mm sampai 0,70 mm, tergantung pada spesies dan lokasinya. Serat-serat bambu pada ruas-ruas bambu (nodia) terjalin dan masuk ke sebagian diafragma dan cabang. Karena akibat dari diskontinuitas ini, nodia pada umumnya adalah titik terlemah dari batang bambu (Ghavami, 2004)

Salah satu faktor yang cukup berpengaruh terhadap kekuatan bambu yaitu berat jenis bambu. Berat jenis dinyatakan sebagai perbandingan antara berat kering suatu benda dengan berat air yang sama dengan volume benda tersebut. Tabel 2. Hakim pada tahun 1987 melakukan penelitian pada ke 6 (enam) jenis bambu dengan hasil berikut:

Tabel 2 Berat Jenis Dari 6 Jenis Bambu (gr/cm²)

Jenis	Nilai berat jenis (gr/cm ²)
Apus	0,590
Legi	0,613
Wulung	0,685
Ori	0,717
Ampel	0,769
Rerata	0,685

Sumber: Hakim, 1987

Bambu dua kali lebih kuat di bagian luar daripada di bagian dalam. (Kumar dan Dobriyal, 1988). Selanjutnya Morisco (1996), melakukan pengetestan kekuatan bambu Ori (*Bambusa Bambos Backer*), bambu Petung (*Dendrocalamus Asper Schult*), bambu Wulung (*Gigantochloa Verticillata Munro*), serta bambu Tutul (*Bambusa Vulgaris*

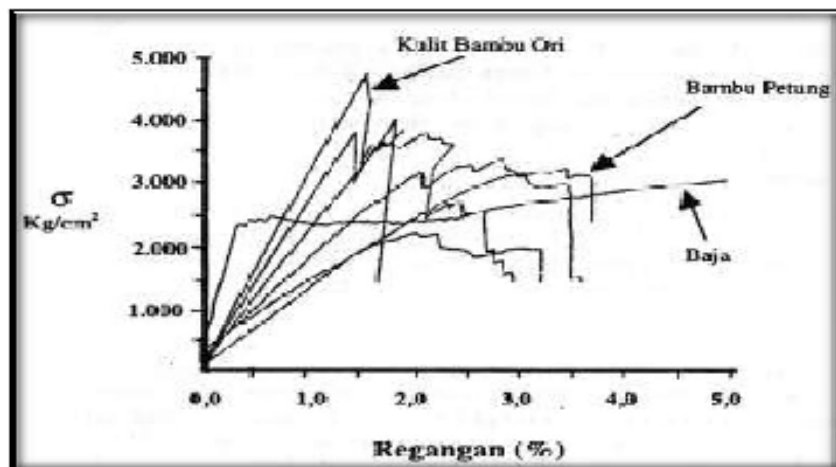
Schrad). Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan disajikan pada tabel 3 terlihat bahwa kekuatan bambu dengan nodia lebih rendah dari bambu tanpa nodia.

Tabel 3 Kuat Tarik Bambu Kering Oven

Jenis Bambu	Kuat Tarik (Kg/cm ²)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	2968	1305
Petung	1938	1183
Wulung	1693	1499
Tutul	2203	755

Sumber: Morisco, (1996)

Penelitian oleh Morisco (1994-1999) adalah membandingkan kuat tarik bambu Ori dan Petung dengan baja tulangan dengan bertegangan leleh 2400 kg/cm² mewakili baja beton yang umumnya terdapat dipasaran, dilaporkan kuat tarik bambu Petung mencapai 3100 kg/cm². Kuat tarik bambu Petung ternyata lebih tinggi jika dibandingkan tegangan luluh baja sebagaimana terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram Tegangan–Regangan Bambu dan Baja
(Sumber: Morisco, 1999)

2.4.2. Keunggulan Bambu

Selain pertumbuhannya tersebar di seluruh dunia, bambu juga mempunyai beberapa keunggulan yaitu:

1. Bambu mudah dibudidayakan dan tidak membutuhkan perawatan khusus,
2. Pada fase pertumbuhan, bambu bisa tumbuh vertikal dengan sangat cepat,
3. Batang bambu memiliki kekuatan cukup tinggi, kuat tariknya dapat bersaing dengan baja tulangan polos.
4. Batang bambu berbentuk pipa sehingga memiliki momen lentur yang tinggi, oleh karena itu bambu cukup baik untuk memikul momen lentur. Ditambah dengan karakteristik bambu yang elastis, batang bambu mempunyai ketahanan yang tinggi baik terhadap beban angin maupun gempa dikarenakan berat sendirinya yang ringan.
5. Pengerjaan bambu hanya memerlukan peralatan sederhana.
6. Kulit luar bambu mengandung banyak silika yang membuat batang bambu dapat terlindungi dan bertahan lama saat digunakan sebagai material bangunan.
7. Bambu memiliki sifat mekanika yang sangat baik.

2.4.3. Sifat-Sifat bambu

Pemanfaatan pohon bambu sebagai bahan alternatif tulangan pada beton untuk struktur bangunan sederhana, diperlukan pengetahuan yang cukup memadai mengenai sifat kimia, sifat fisika dan sifat mekanik dari bahan tersebut agar memenuhi persyaratan ekonomis, keamanan, dan kenyamanan bagi penggunaannya melalui pengujian di laboratorium.

1. Sifat Kimia Bambu

Penelitian sifat-sifat kimia bambu sebagaimana yang dilakukan oleh **Gusmailina dan Sumadi Wangsa** (1988) meliputi penetapan kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, silika, serta kelarutan dalam air dingin, air panas dan alkohol benzen. Berdasarkan temuan, batang bambu memiliki kandungan selulosa berkisar antara 42,4% hingga 53,6%, kandungan lignin berkisar antara 19,8% hingga 26,6%, kandungan pentosan antara 1,24% hingga 3,77%, kandungan abu antara 1,24%

hingga 3,77%, kandungan silika antara 0,10. % dan 1,78%, dan kandungan ekstraktif (kelarutan dalam air dingin) antara 0,10% dan 1,78%. Kandungan ekstraktif (kelarutan dalam air panas), 4,5% - 9,9% Kandungan ekstraktif (kelarutan dalam benzena alkohol): 5,3%–11,8% 0,9% - 6,9%.

2. Sifat Fisika Bambu

a. Berat Jenis

Berat jenis bambu adalah perbandingan antara berat bambu dengan berat volume air yang sama dengan volume bambu. Menurut Leise (1980), berat jenis batang bambu sekitar 0,5 – 0,9 gr/cm². Perhitungan besarnya berat jenis kering bambu digunakan Persamaan 1 dengan benda uji sama seperti benda uji kadar air.

$$B_j = W_a / G_b \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

BJ = Berat jenis bambu

W_a = Berat benda uji kering oven (gram)

G_b = Berat air yang volumenya sama dengan volume benda uji kering oven (gram)

b. Kadar Air

Kadar air didefinisikan sebagai jumlah air yang terkandung dalam sampel bahan atau dinyatakan sebagai persentase berat air yang terkandung dalam sampel bahan relatif terhadap berat kering oven. Jumlah uap air yang terkandung di setiap potongan bambu bisa berbeda-beda. Ini karena pengaruh kondisi udara dan atmosfer. Kadar air bambu saat kondisi kering udara maksimum yaitu 20%. Menurut Liesse (1980), kandungan air pada batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Hal itu sangat bergantung pada umur, waktu penebangan, dan jenis bambu. Menghitung kadar

air benda uji tersebut digunakan persamaan 2 sesuai ISO 22157-01-2004 sebagai berikut:

$$KA (\%) = (BA - BKT) / BKT \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

KA = Kadar Air (%)

BA = Berat bambu sebelum dioven

BKT = Berat bambu setelah dioven

Berat jenis bambu adalah perbandingan beratnya dengan berat volume air yang sama dengan volumenya. Berat jenis dan berat jenis bambu ditentukan oleh jumlah bahan kayu, sehingga berat jenis dan berat jenis bambu menentukan sifat fisik dan mekaniknya. Oleh Leise (1980), sekitar 0,5 – 0,9 gr/cm² bambu memiliki berat jenis.

c. Kembang Susut

Pengembangan (*Swelling*) dan penyusutan (*Shrinkage*) diartikan sebagai perubahan dimensi bahan yang disebabkan adanya perubahan kadar air pada bahan. Bambu dikenal sebagai bahan yang memiliki angka penyusutan yang tinggi oleh karena itu diperlukan pemahaman dalam pengerjaan dan penggunaannya sebagai material konstruksi. Sebagaimana disampaikan Prawiroatmodjo (1990), bambu menunjukkan anisotropi karena dimensinya berubah secara berbeda dalam tiga arah struktur radial, tangensial, dan longitudinal

3. Sifat Mekanik Bambu

a. Kuat Tarik

Berdasarkan pengujian yang dilakukan Morisco pada tahun 1999, memperoleh perbandingan kuat tarik bambu Ori dan petung dengan baja struktur bertegangan leleh 2400 kg/cm² mewakili baja beton yang banyak tersedia,

kekuatan tarik bambu tegak lurus terhadap serat mempunyai hubungan ketahanan bambu terhadap pembelahan pada batang bambu. Rumus ISO 22157-01-2004 digunakan untuk mengetahui kuat tarik sejajar serat bambu adalah sebagai berikut, persamaan 3:

$$F_{t//} = P_{max}/A \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$F_{t//}$ = Kuat tarik sejajar serat (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Tebal x lebar (Luas Penampang) mm²

Kekuatan tarik bambu dapat menahan beban tarik berbeda-beda baik pada bagian batang dalam atau bagian luar, garis tengah batang bambu (batang yang langsing memiliki ketahanan terhadap gaya tarik lebih tinggi), pada bagian batang yang digunakan karena bagian atas atau ujung memiliki kekuatan terhadap gaya tarik yang 12% lebih rendah dibandingkan dengan bagian batang pangkal.

b. Kuat tekan

Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang bekerja searah serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian bambu secara bersama-sama (*Pathurahman, 1998*). Kekuatan tekan bambu semakin meningkat seiring dengan bertambah umur bambu.

Menurut penelitian Morisco (1999), bagian pangkal, tengah, dan ujung batang bambu berpengaruh terhadap kuat tekan bahan.

Menggunakan standar ISO 3132-1975, uji kuat tekan sejajar dengan serat bambu. dihitung menggunakan rumus 4:

$$\sigma_{tk//} = P_{max}/A \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

σ_{tk} // = Kuat Tekan sejajar Serat (MPa)

Pmaks = Gaya tekan maksimal bambu (N)

A = Tebal x lebar (Luas bidang yang tertekan) mm²

c. Modulus Elastisitas Bambu

Modulus elastisitas bambu berkisar antara 18575 kg/cm² sampai 294,200 kg/cm², hal itu didasarkan oleh penelitian dilakukan oleh Tular dan Sutidjan dalam Muhammad (2007). Berikut persamaan 5 dapat digunakan untuk menghitung Modulus elastisitas bambu (MOE):

$$MOE = (P_{max} L^3) / (4bt^3s) \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

MOE = Modulus Elastisitas

Pmaks = Beban Maksimum

L = Panjang (mm)

b = Lebar bambu (mm)

T = Tebal bambu (mm)

S = Lendutan proporsional dari benda uji (mm)

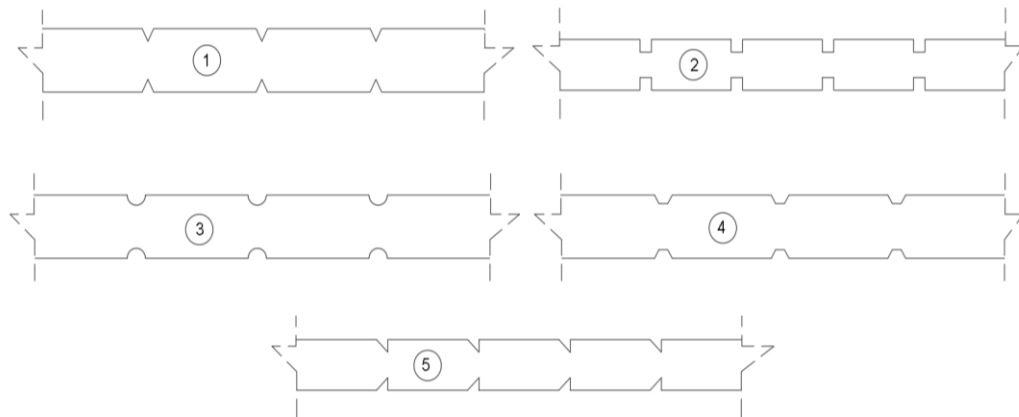
2.4.4. Tipe Takikan Bambu

Permukaan bambu yang polos cukup rawan menyebabkan terjadinya pergelinciran (selip) antara tulangan dan beton. Penggunaan takikan pada permukaan tulangan bambu dapat meningkatkan kekuatan lekatan antara tulangan bambu dan beton. Takikan dapat mengunci beton yang berada di sekeliling tulangan sehingga tidak terjadi selip (penggelinciran).

Pembuatan takikan pada sisi kiri dan kanan bambu merupakan salah satu metode pemodelan tulangan bambu. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kuat lekatan antara tulangan bambu dengan beton. Dengan adanya komponen yang saling

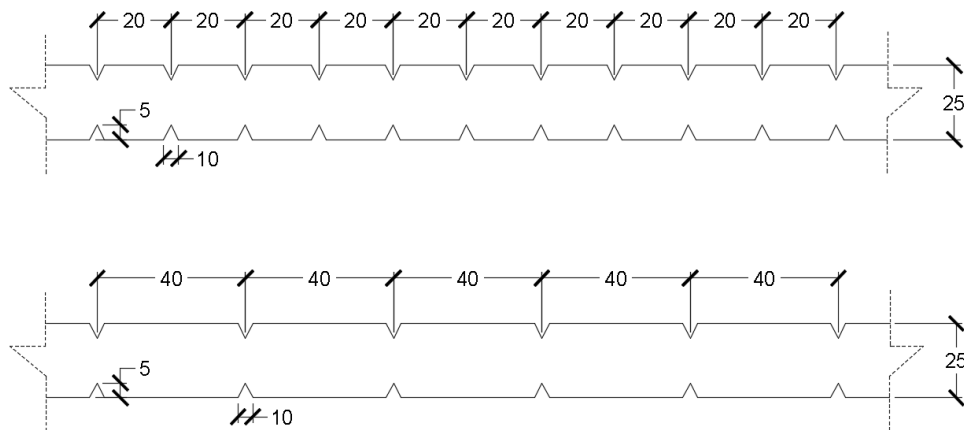
mengunci antara permukaan tulangan dan beton, tulangan bambu takikan juga dapat mengurangi dampak susut atau muai akibat kandungan air. (Azadeh, 2013).

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



Gambar 7 Tipe Takikan Bambu

Pada penelitian ini digunakan model takikan dengan tipe V. Berikut contoh gambar bambu tulangan yang sudah diberi takikan sejajar tipe V dengan variasi jarak pertakikan 20 mm dan 40 mm, panjang bentang bambu adalah 2900 mm setelah dikurangi selimut beton pada kedua sisi:



Gambar 8 Detail Takikan Tipe V

2.5. Beton

Komponen utama penyusun beton adalah semen, air, dan agregat. Agregat yang dimaksud terdiri dari agregat halus umumnya menggunakan pasir dan agregat kasar yaitu menggunakan kerikil. Semen dan air membentuk pasta pengikat yang akan mengisi celah dan mengeras diantara butir-butir pasir dan agregat, sementara agregat halus yang akan menentukan kekuatan dari beton.

Beton bertulang merupakan bahan beton yang diberikan tulangan dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang dipersyaratkan dengan atau tanpa regangan, dan didesain berdasarkan anggapan bahwa kedua bahan tersebut dapat bekerja sama dalam menerima gaya (SNI 03-2847-2019). Sifat utama beton adalah kuat menerima beban aksial (tekan), namun lemah terhadap beban tarik, maka untuk mengganti kelemahan dari beton perlu ditambahkan tulangan untuk meningkatkan kekuatan beton dalam memikul beban tarik. Sehingga beton bertulang adalah struktur yang kuat terhadap beban tekan dan beban tarik. Tulangan dan beton bisa bekerja secara bersamaan atas dasar beberapa hal, yaitu:

1. Lekatan (*Bond*) yang merupakan kerjasama antara tulangan dengan beton di sekelilingnya, yang dapat mencegah terjadi selip pada tulangan saat berada di dalam beton.
2. Di bawah variasi suhu, nilai kecepatan ekspansi yang agak konsisten menyebabkan regangan minimal antara baja dan beton.

Beton bertulang telah menjadi material konstruksi yang paling sering dipergunakan dalam berbagai jenis konstruksi, baik konstruksi Gedung, jembatan, drainase, dan jalan. Hal ini disebabkan oleh pengaplikasian material ini paling mudah dengan ketersediaan material yang juga mudah diperoleh, selain itu terdapat banyak kelebihan-kelebihan lain yang dimiliki material konstruksi beton bertulang, berikut adalah kelebihan material konstruksi beton bertulang:

1. Beton memiliki kekuatan tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan material lainnya.

2. Beton bertulang adalah bahan struktural terbesar untuk bangunan dan memiliki banyak kontak langsung dengan air karena ketahanannya yang sangat baik terhadap api dan air.
3. Struktur bangunan menggunakan beton bertulang sangat kokoh
4. Pemakaian beton tidak memerlukan biaya perawatan yang tinggi
5. Beton bertulang memiliki umur layan yang sangat panjang
6. Salah satu ciri khas beton yaitu mudah untuk dicetak menjadi bentuk sangat beragam, mulai dari pelat, balok dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
7. Membandingkan beton bertulang dengan material lain seperti baja struktural, lebih mudah menemukan personel dengan pengalaman yang diperlukan.

Selain kelebihan yang dimiliki beton bertulang tentu juga terdapat beberapa kelemahan dan kekurangan beton ketika digunakan sebagai material konstruksi, berikut beberapa kekurangan dan kelemahan yang dimiliki bahan beton:

1. Beton memiliki kuat tarik sangat rendah, sehingga memerlukan tulangan.
2. Bekisting diperlukan untuk beton bertulang agar beton tetap di tempatnya saat proses *hardening*. Selain itu, penyangga sementara mungkin diperlukan untuk menjaga bekisting tetap berada pada posisinya, misalnya pada kolom, dinding, atap, dan struktur-struktur sejenis, sampai bagian-bagian beton tersebut cukup kuat untuk menahan beratnya sendiri.
3. Rendahnya kekuatan persatuan berat dari beton menyebabkan beton bertulang menjadi berat. Karena rendahnya kekuatan persatuan berat, rendahnya kekuatan persatuan volume mengakibatkan beton akan berukuran relatif lebih besar.

Kegagalan pada struktur balok beton bertulang pada dasarnya dipengaruhi oleh melelehnya tulangan dan hancurnya beton akibat beban telah melampaui kekuatan beton dan tulangan. Ada tiga asumsi yang bisa menyebabkan kegagalan struktur balok beton bertulang, yaitu:

a. Kondisi *balanced reinforced*

Tulangan tarik mulai melemah tepat saat beton mencapai batas regangannya dan akan runtuh karena tekanan.

Kondisi regangan: $\epsilon_c = 0,003$ dan $\epsilon_s = F_y/E_s$

Pada kondisi ini berlaku: $\rho = \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s = \epsilon_y$

b. Kondisi *Over-Reinforced*

Hal ini terjadi ketika penggunaan tulangan lebih berlebihan daripada yang diperlukan dalam kondisi seimbang. Kegagalan ditandai dengan kerusakan pada bagian beton sebelum tulangan baja meleleh.

Pada kondisi ini berlaku: $\rho > \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s < \epsilon_y$

c. Kondisi *Under-Reinforced*

Situasi ini terjadi ketika tulangan tarik yang digunakan pada balok kurang dari yang dibutuhkan untuk situasi seimbang. Kegagalan ditandai dengan terlebih dahulu melelehnya tulangan baja daripada betonnya.

Pada kondisi ini berlaku: $\rho < 75\% \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s > \epsilon_y$

Untuk elemen struktur lentur, dan untuk elemen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial tekan dimana kekuatan rencana ϕP_n kurang dari nilai yang terkecil antara $0,10.f'_c.A_g$ dan ϕP_b , maka rasio tulangan ρ yang ada tidak boleh melampaui $0,75 \rho_b$, merupakan rasio tulangan yang menghasilkan kondisi regangan seimbang terhadap penampang yang mengalami kondisi lentur tanpa beban aksial. Untuk elemen struktur dengan tulangan tekan, bagian ρ_b yang disamakan oleh tulangan tekan tidak perlu dikurangi dengan faktor 0,75.

Balok disebut *under-reinforced* jika struktur balok memiliki lebih sedikit tulangan dari yang diperlukan untuk suatu perbandingan kondisi seimbang. Jika sebuah balok berada pada kondisi *under-reinforced* dan beban ultimit sudah hampir tercapai, baja akan mulai meleleh walaupun tegangan pada beton tekan masih belum mencapai tegangan maksimumnya. Jika beban terus ditingkatkan, tulangan akan berdeformasi

sehingga terjadi lendutan dan muncul retak besar pada beton didaerah tarik. Kondisi ini menjadi peringatan bahwa beban harus segera dikurangi atau struktur akan rusak dan runtuh. Hal inilah yang menjadi pertimbangan suatu struktur balok harus direncanakan tetap dalam kondisi *under-reinforced*.

2.5.1. Kuat Tekan Beton

Rasio beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton runtuh ketika dibebani dengan sejumlah gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh alat uji tekan, dikenal sebagai kuat tekan beban beton. (SNI 03-1974-1990).

Berikut ini rumus dapat digunakan secara metodis dalam persamaan 6 sesuai dengan ASTM C 39-86, yang berkaitan dengan standar pengujian untuk kuat tekan sampel silinder, yang ditentukan dengan membagi beban terbesar yang dicapai selama pengujian dengan luas penampang sampel:

$$f_c = P/A \dots\dots\dots (6)$$

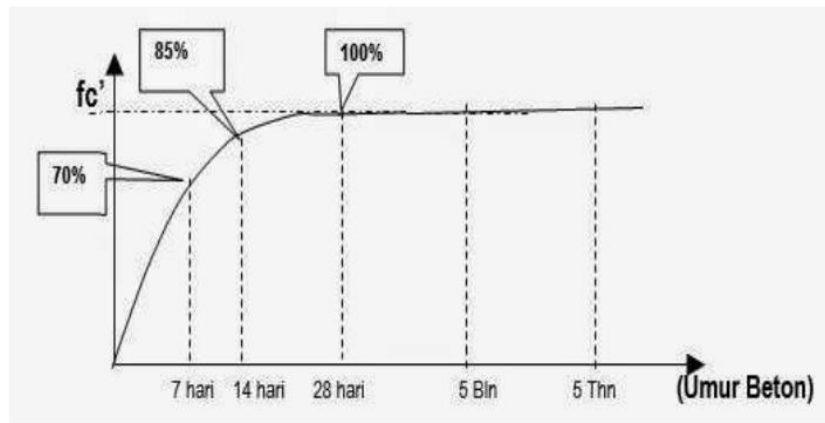
Dimana:

f_c = Tegangan tekan beton (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas penampang (mm)

Kekuatan tekan beton (normal) naik secara cepat saat mencapai umur 28 hari, seterusnya kenaikan kuat tekan berlangsung lambat dalam hitungan bulan hingga tahun, sehingga biasanya kekuatan beton yang dipakai sebagai acuan pada umur 28 hari.



Gambar 9 Grafik umur kuat tekan beton

Dapat dilihat pada gambar 9 diatas, kekuatan tekan beton umur 7 hari sekitar 70% terhadap umur beton 28 hari sementara kekuatan tekan beton umur 14 hari sekitar 85% terhadap beton 28 hari. Temuan penelitian menunjukkan bahwa kekuatan beton terus meningkat hingga usia 50 tahun.

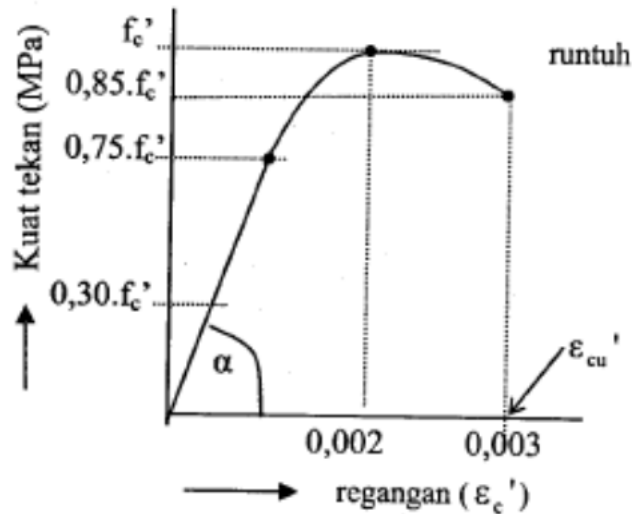
Akibat beban yang terjadi (tekanan pada beton) mengakibatkan bentuk fisik sampel uji beton berubah menjadi memendek, sehingga timbul regangan pada beton (ϵ_c'), berikut rumus regangan pada beton, persamaan 7:

$$\epsilon_c' = \Delta L / L_o \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

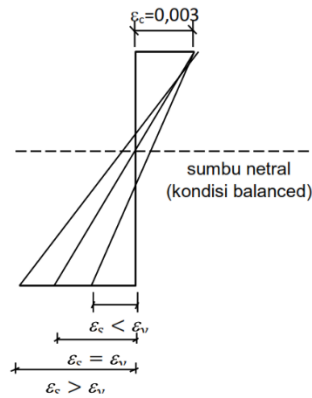
- ϵ_c' = regangan tekan beton
- ΔL = perpendekat beton (mm)
- L_o = tinggi awal silinder (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar 10 di bawah:



Gambar 10 Hubungan tegangan dan regangan tekan beton

2.5.2. Modulus Elastisitas Beton



Gambar 11 Distribusi regangan penampang balok ultimit

Menurut persamaan tegangan-regangan pada Gambar 10 untuk tekan beton, sudut α dibentuk oleh garis lurus kurva yang dihasilkan dari kondisi tegangan nol hingga tegangan tekan $0,45 f_c'$ dan regangan ϵ' . Garis singgung sudut adalah modulus elastisitas beton (E_c). Menurut pasal 10.5 SNI 03-2487:2002, modulus Elastisitas beton E_c bisa ditentukan dari berat beton normal W_c dan kuat tekan beton f_c' , dengan persamaan 8:

$$E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(8)$$

Sedangkan untuk beton normal, nilai E_c bisa menggunakan persamaan 9:

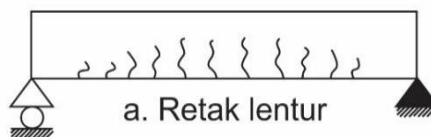
$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'c} \dots\dots\dots(9)$$

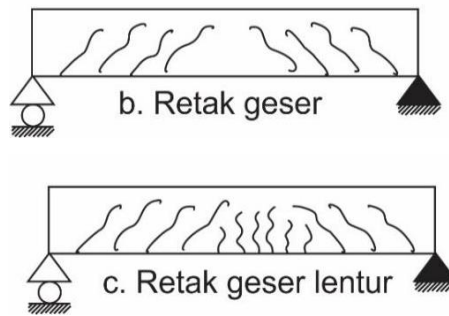
2.5.3. Retak Pada Balok

Ketika retakan muncul pada suatu struktur, biasanya berarti ada tegangan pada tulangan dan beton pada ketebalan tertentu yang menutupi tulangan, dan lebar celah retak sebanding dengan tegangan tersebut. Meskipun retak tidak dapat dihindari, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara mendistribusikan tulangan ke wilayah yang berpotensi terjadi gaya momen.

Sekalipun struktur dibebani sedemikian rupa sehingga momen lentur lebih kecil dari momen retak, tegangan yang dihasilkan akan lebih kecil dari modulus rupture beton $f_r = 0,70 \sqrt{f'c}$. Apabila beban ditingkatkan hingga tegangan tarik mencapai f_r , maka retak kecil akan terjadi. Penampang akan putus jika tegangan tarik lebih tinggi dari f_r . Pada prinsipnya ada tiga jenis keretakan yang akan terjadi pada balok, (Gilbert, 1990):

1. Retak lentur (*flexural crack*), Terjadi pada daerah dengan nilai momen lentur besar dan gaya geser kecil. Arah retak hampir tegak lurus terhadap sumbu balok (Gambar 12.a)
2. Retak geser pada balok (*web shear crack*), artinya, retakan miring yang terjadi pada garis netral suatu penampang dimana tegangan geser dan tegangan aksial maksimum sangat kecil. (Gambar 12.b)
3. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*), Terjadi pada balok yang sebelumnya mengalami retak lentur. Retak geser lentur adalah retak miring yang merambat dari retak lentur yang dimulai sebelumnya. (Gambar 12.c)



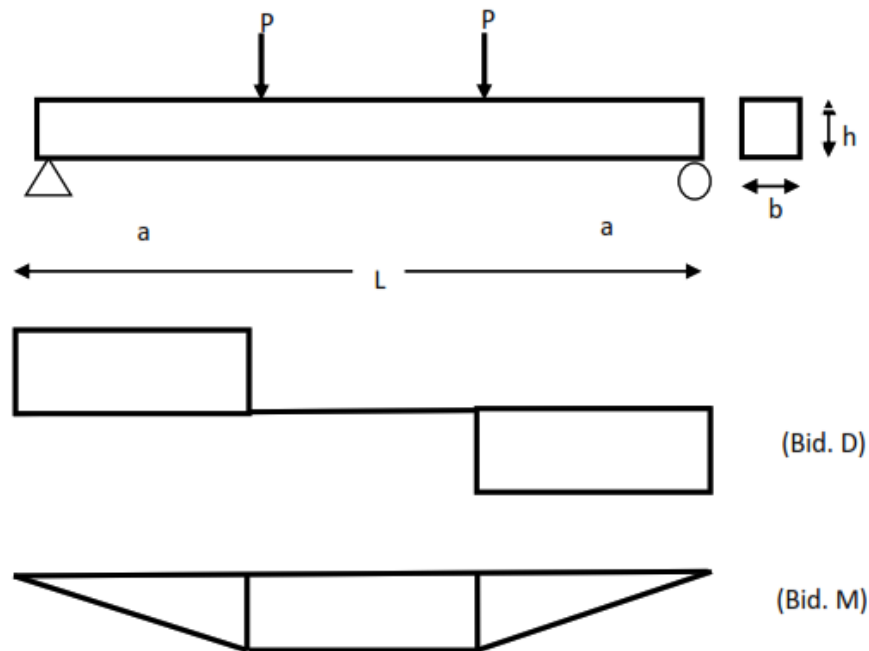


Gambar 12 Jenis retak pada Beton

2.6. Desain Kapasitas Struktur terhadap lentur

2.6.1. Lentur Pada Balok

Beban yang terjadi pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (arah vertikal) maupun beban – beban lain, seperti beban angin (arah horizontal), atau juga beban karena susut atau beban karena adanya perubahan temperatur, menyebabkan adanya lendutan dan deformasi pada struktur tersebut. Lendutan pada balok adalah akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar yang bekerja. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan meningkat yang mengakibatkan terbentuknya (bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Jika beban terus meningkat, elemen struktur balok pada akhirnya dapat pecah, terutama ketika beban luar melebihi kapasitas struktur balok. Keadaan batas kegagalan lentur balok adalah apa yang dikenal sebagai tingkat pembebanan.



Gambar 13 Bentuk Pembebanan Dalam Keadaan Lentur Murni

2.6.2. Keruntuhan Lentur

Jenis keruntuhan yang bisa terjadi pada struktur balok lentur bergantung pada sifat – sifat penampang balok dan dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu

a. Keruntuhan Tekan (*Brittle Failure*)

Pada kondisi penampang beton dengan kegagalan tekan, beton akan runtuh sebelum tulangan leleh. Artinya tegangan tekan pada beton melebihi kuat luluh sebesar 0,003, tetapi tegangan tarik pada tulangan belum mencapai kuat luluhnya. Artinya, $\epsilon_c' = \epsilon_{cy}'$, tetapi $\epsilon_s < \epsilon_y$ seperti gambar 14a. Istilah "over-reinforced" mengacu pada balok yang gagal dengan cara ini, khususnya bagian balok dengan rasio tulangan yang tinggi (ρ), dan disebut *over – reinforced*.

Sebab beton memiliki sifat yang kuat menahan beban tekan namun tidak daktil (bersifat getas), maka keruntuhan pada beton seperti ini disebut keruntuhan tekan atau keruntuhan getas (*brittle failure*). Untuk balok yang mengalami keruntuhan getas, lendutan balok relatif konstan (tidak bertambah)

karena tulangan masih kuat (belum mencapai leleh) pada saat beton mulai runtuh. Namun, ketika diatas balok ditambah beban yang besar, maka baja tulangan akan meleleh dan bisa terjadi keruntuhan seketika (serentak), tanpa ada indikasi atau peringatan tentang lendutan yang terjadi pada balok. Keadaan demikian sangat membahayakan untuk kepentingan keberlangsungan hidup manusia, sehingga sistem desain untuk beton bertulang yang dapat mengakibatkan *over – reinforced* tidak diizinkan.

b. Keruntuhan seimbang (*Balanced Failure*)

Untuk penampang beton dengan keruntuhan seimbang, beton runtuh dan baja luluh pada saat yang bersamaan. Artinya regangan tekan beton mencapai regangan ultimate 0,003, sedangkan regangan tulangan telah mencapai titik leleh, seperti gambar 12c. Struktur balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi di penampang beton menggunakan rasio tulangan seimbang (*balance*). Rasio tulangan balance diberi simbol p_b .

Karena beton dan baja tulangan terjadi rusak pada saat yang sama, maka kekuatan beton dan tulangan bisa dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan tulangan tersebut menjadi lebih ekonomis. Perencanaan beton bertulang yang demikian ini adalah model perencanaan yang sangat ideal, tetapi sulit dicapai karena dipengaruhi banyak faktor yang mempengaruhi, misalnya ketidaktepatan mutu baja yang digunakan dengan mutu baja yang rencana, ketidaktepatan mutu beton saat pelaksanaan dengan mutu beton yang direncanakan, maupun kurang telitian saat proses perencanaan hitungan akibat adanya kesalahan pembulatan – pembulatan.

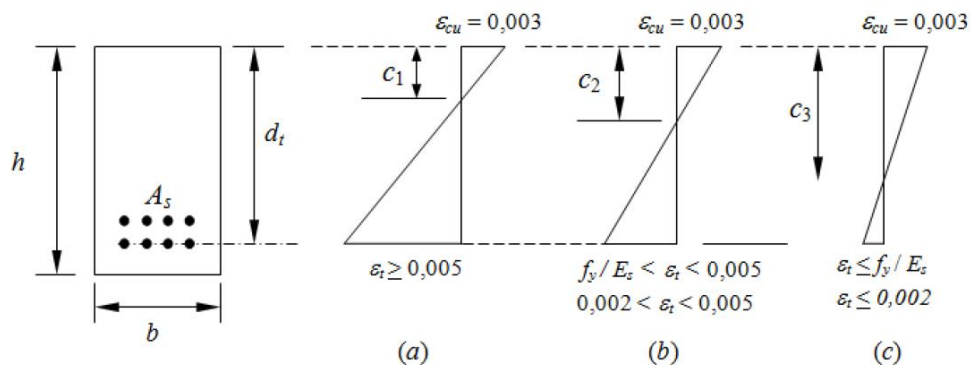
c. Keruntuhan tarik (*Ductile Failure*)

Saat kondisi penampang beton dengan keruntuhan tarik, tulangan telah lebih dulu leleh sebelum beton hancur. Hal ini berarti regangan tarik pada tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan pada beton belum tercapai regangan batas 0,003 atau $\epsilon_s = \epsilon_y$ tetapi $\epsilon_c' < \epsilon_{cy}'$ seperti terlihat pada

gambar 14d. Struktur balok yang mengalami kegagalan seperti demikian terjadi pada saat penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang kecil, dan disebut *under-reinforced*.

Karena kerusakan terjadi pada tulangan yang menahan beban tarik terlebih dahulu dan tulangan bersifat duktail, maka keruntuhan beton seperti ini adalah keruntuhan tarik atau keruntuhan duktail (*ductile failure*). Pada struktur balok yang terjadi keruntuhan tarik, disaat tulangan mulai leleh, betonnya masih dalam kondisi kuat (belum hancur), sehingga mengakibatkan terjadi lendutan di struktur balok. Jika beban terus ditambah, maka lendutan balok semakin bertambah besar dan akhirnya mengakibatkan terjadinya keruntuhan pada balok. Keadaan demikian dapat tentu “menguntungkan” untuk kepentingan keberlangsungan hidup manusia, karena terdapat “peringatan” yaitu lendutan semakin membesar sebelum runtuh, sehingga model perencanaan beton bertulang yang *under-reinforced* ini lebih aman dan diizinkan dalam aplikasinya. (Asroni, 2010)

Distribusi regangan pada penampang beton untuk ketiga jenis keruntuhan tersebut dapat dilihat pada gambar 14 berikut:



(a) Penampang Dominan Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Dominan Tekan

Gambar 14 Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan lentur

2.6.3. Kekakuan Balok

Pembatasan kekakuan berguna untuk menjaga struktur agar tidak mengalami lendutan yang melebihi lendutan yang diizinkan. Timoshenko (1996) mendefinisikan kekakuan sebagai gaya yang diperlukan untuk menyebabkan defleksi satu-satuan. Berdasarkan defenisi tersebut maka persamaan kekakuan dapat dituliskan sebagai perbandingan beban dan lendutan pada saat terjadi retak awal seperti pada persamaan 10:

$$K = P_{cr}/(s_{cr}) \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

K : Kekakuan (N/mm)

P_{cr} : Beban saat terjadi retak awal (N)

s_{cr} : nilai lendutan saat terjadi retak awal (mm)

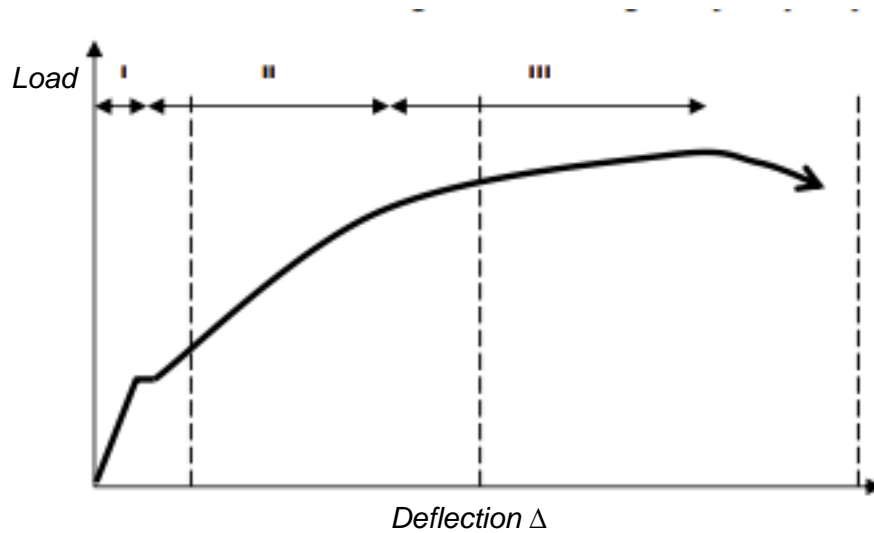
2.6.4. Lendutan Pada Balok

Lendutan balok di tengah bentang akibat beban titik dan tumpuan sendi-rol serta balok tersebut belum terbentuknya sendi plastis sehingga dapat ditulis pada persamaan 11 sebagai berikut:

$$s = (P L^3)/(48 EI) \dots\dots\dots(11)$$

Lendutan yang terjadi dibatasi oleh lendutan izin maksimum, yaitu tidak boleh lebih besar dari $L/240$.

Hubungan beban dan lendutan pada balok beton bertulang, pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada gambar 15. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah penting pada struktur sebelum terjadinya *rupture*.



Gambar 15 Hubungan Beban Lendutan Pada Balok

(Sumber: Edward Nawy 2003)

Daerah I: Taraf praretak, dimana keseluruhan batang strukturalnya tidak terdapat retak.

Daerah II: Tahap setelah patahan, ketika setiap bagian struktural telah mengalami retakan terkendali yang masih dapat diterima dalam hal ukuran dan distribusi.

Daerah III : Tingkat setelah daya layan, dimana tegangan luluh pada tulangan baja telah dicapai oleh tegangan yang terjadi pada tulangan tarik.