

**INTERAKSI JENIS KAIT DAN JARAK ANTAR KAIT
TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANGAN
BAMBU DENGAN PENGAIT**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ACHMAD ALI RIDHO
NIM. 125060101111019

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

RINGKASAN

Achmad Ali Ridho, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Juli 2016, *Interaksi Jenis Kait dan Jarak Antar Kait Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Dengan Pengait*, Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Christin Remayanti N., ST., MT.

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan juga telah lama dikenal. Beton mempunyai sifat getas, sehingga secara praktis kemampuan untuk menahan tegangan tarik relatif kecil. Untuk memperbaiki sifat beton yang getas tersebut maka kaitannya dengan tegangan tarik beton diberikan tulangan. Bambu dikenal memiliki sifat-sifat umum yang sangat menguntungkan untuk dimanfaatkan karena, batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut. Tetapi masih banyak keraguan untuk pemakaian bambu sebagai tulangan beton. Keraguan pertama timbul karena lekatan antara bambu dan semen kurang baik, selain itu bambu sangat higroskopis, sedang kandungan air pada bambu sangat mempengaruhi kembang susut, yang lebih lanjut akan mempengaruhi lekatan antara bambu dan beton. Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan diatas, maka pada penelitian ini dilakukan penambahan kait pada balok beton bertulangan bambu. Material yang digunakan sebagai kait bervariasi yaitu menggunakan bambu petung dan menggunakan kayu kamper sebagai jenis kait yang lain.

Pada penelitian ini objek yang diamati yaitu, benda uji berupa balok dengan dimensi 18 x 28 x 160 cm. Balok Beton bertulangan bambu yang diberi pengait dengan jenis dan jarak yang telah ditetapkan. Balok diuji untuk mendapatkan kuat lentur, sedangkan tulangan bambu dengan pengait diuji *pull-out* untuk mendapatkan hasil tegangan lekat. Tulangan yang digunakan menggunakan bambu jenis petung, sedangkan jarak antar kait ditetapkan sebesar 6 cm dan 12 cm, dengan jenis kaitnya yaitu bambu petung itu sendiri serta kayu kamper. Selain variasi tentang jenis dan jarak kait, percobaan ini juga menggunakan variasi mutu beton yaitu 20 MPa dan 30 MPa serta variasi rasio tulangan 0,8% dan 1,6%. Karena banyaknya variasi yang digunakan, percobaan ini menggunakan metode statistik setengah faktorial dengan tujuan untuk memangkas jumlah benda uji yang akan dibuat.

Hasil dari percobaan ini menggunakan metode tabel ANOVA diperoleh perhitungan F hitung sebesar 0,015 dengan *level of significance* (α) = 0,05 diperoleh nilai F tabel = $F_{0,005; 3; 23} = 4,35$. Karena nilai F hitung < F tabel ($0,015 < 4,35$), maka H_0 ditolak. Sehingga tidak terdapat pengaruh signifikan interaksi jarak kait dengan jenis kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu dengan kait. Dengan F hitung sebesar 0,015 maka besarnya *level of significance* (α) untuk pengaruh utama Interaksi antara Jenis kait dan Jarak antar kait adalah 0,97.

Kata kunci: beton bertulang bambu, kait, *pull-out*, kuat lekat, kuat lentur

SUMMARY

Achmad Ali Ridho, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Malang, July 2016, *Interaction Hook's Type and Hook's Spacing to flexural strength of concrete beams bamboo reinforced with hooks.*, Academic Supervisor: Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS and Christin Remayanti N., ST., MT.

The use of concrete as a building material has also long been known. Concrete has a brittle nature, so in practice the ability to withstand tensile stress is relatively small. To improve the properties of brittle concrete that is then related to the tensile stress given concrete reinforcement. Bamboo is known to have common properties are very advantageous to be used for, its trunk is strong, resilient, straight, flat, hard, flaky, malleable and easy to do and lightweight so easily transported. But there are still many doubts as to the use of bamboo as reinforcement of concrete. The first doubt arises because the bond between bamboo and cement is not good, other than that bamboo is very hygroscopic, while the water content in the bamboo flowers greatly affect shrinkage, which will further affect the bond between bamboo and concrete. Based on the problems described above, then on this research, the addition of concrete beams bertulangan latch on bamboo. The material used as hooks varies the use petung and use camphor wood as other types of hooks.

In this study, the object being observed, namely, test objects such as blocks with dimensions of 18 x 28 x 160 cm. Concrete Beams bamboo bertulangan by hook type and a set distance. The beams were tested to get a flexural strength, while reinforcing bamboo with pull-out hooks tested to get the sticky voltage. Reinforcement used to use bamboo types petung, while the distance between the hooks set at 6 cm and 12 cm, with a kind of hook that is petung itself and camphor wood. In addition to a variety of types and spacing of hooks, this experiment also uses a variation of the quality of concrete is 20 MPa and 30 MPa and variations reinforcement ratio of 0.8% and 1.6%. Since there are many variations to use, this experiment using a half-factorial statistical methods with the aim to cut the number of test specimens to be created.

The results of these experiments using ANOVA table calculations obtained F count equal to 0.015 level of significance (α) = 0.05 was obtained value of $F_{table} = F_{0,005; 3; 23} = 4.35$. Because the value of $F_{count} < F_{table}$ ($0.015 < 4.35$), then H_0 is rejected. So there is no significant effect of interaction with the type of hooks within hooks to flexural strength bamboo reinforced beam with hooks. With F_{count} of 0.015, the amount of level of significance (α) for the main influence interaction between type and the distance between the hooks latch is 0.97.

Keyword : bamboo reinforced concrete, hooks, pull-out, sticky strength, flexural strength

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Interaksi Jenis Kait Dan Jarak Antar Kait Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Dengan Pengait” guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Terima kasih juga Penulis sampaikan kepada pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini :

1. Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Dr. Eng. Indradi W, ST., M.Eng. (Prac), selaku Ketua Program Studi S1 jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS., selaku dosen pembimbing atas segala arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Christin Remayanti N., ST., MT. selaku dosen Pembimbing atas segala arahan dan bimbingan yang telah diberikan dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Orang tua tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moril serta materiil dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Desi Putri Kurniasari yang terus memberikan semangat pada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Abdillah, Ronny, Ambar, Dede, dan Nanda selaku tim skripsi yang walaupun sering berbeda pendapat namun tetap kompak.
8. Teman – teman kontrakan dan semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penyusunan tugas akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya. Penulis meminta maaf jika terdapat kekurangan pada penulisan tugas akhir ini.

Malang, 20 Juli 2016

Penyusun



DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton dan Beton Bertulang	5
2.2 Material Penyusun Beton	6
2.2.1 Semen	6
2.2.2 Agregat	7
2.2.2.1 Agregat Kasar	7
2.2.2.2 Agregat Halus	7
2.2.3 Air	8
2.3 Bambu	8
2.3.1 Bambu sebagai tulangan beton	8

2.3.1.1 Kuat Tarik Tulangan Bambu	9
2.3.1.1 Kuat Lekat Tulangan Bambu	10
2.3.2 Perlakuan Permukaan pada Bambu	11
2.3.3 Kayu Kamper Sebagai Kait	12
2.4 Kapasitas Lentur Pada Balok	13
2.5 Analisis Balok Terlentur Bertulangan Bambu	14
2.6 Perilaku Lendutan	15
2.7 Pola Retak	17
2.8 Hasil Penelitian Terdahulu	18
2.9 Hipotesis Penelitian	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Variabel Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3.1 Alat Penelitian	21
3.3.2 Bahan Penelitian	22
3.4 Analisa Bahan	22
3.4.1 Semen	22
3.4.2 Air	22
3.4.3 Agregat	23
3.4.4 Tulangan	23
3.4.5 Beton	23
3.4.6 Kait	23
3.4.7 Besi Polos	23

3.5	Rancangan Penelitian	23
3.5.1	Rancangan Benda Uji Tekan	23
3.5.2	Rancangan Benda Uji Pull-Out	23
3.5.3	Rancangan Benda Uji Kuat Lentur	25
3.6	Prosedur Penelitian	28
3.6.1	Pembuatan Tulangan Bambu	28
3.6.2	Pengujian Kuat Tekan	28
3.6.3	Pengujian Pull-Out	28
3.6.4	Pengujian Kuat Lentur	29
3.7	Diagram Alir Tahapan Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Analisis Agregat Halus	33
4.2	Analisis Agregat Kasar	33
4.3	Pengujian Kuat Tekan Beton	34
4.4	Pengujian Pull Out	37
4.5	Pengujian Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu	39
4.5.1	Hasil Pengujian Lentur Balok Beton	40
4.6	Analisis Balok Beton Bertulangan Bambu	46
4.6.1	Teoritis	46
4.6.2	Perbandingan Teoritis dengan Hasil Eksperimen	47
4.6.3	Lendutan Teoritis dan Aktual	48
4.6.4	Analisis Grafik Hubungan $P - \Delta$	49
4.6.5	Analisis Perbandingan Hasil Pengujian Berdasarkan Faktor Jarak Kait dan Jenis Kait	51

4.6.5.1 Analisis Perbandingan Beban Maksimum	51
4.6.5.2 Analisis Perbandingan Lendutan Pada Keadaan Elastis	52
4.6.6 Pola Retak	53
4.7 Uji Hipotesis	58
4.7.1 Metode ANOVA	58
BAB V PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	67



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Jenis-jenis Semen Portland	7
Tabel 2.2	Tegangan Tarik Bambu Oven	9
Tabel 2.3	Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu	9
Tabel 2.4	Hasil Pengujian Kayu Kamper	13
Tabel 2.5	Lendutan izin maksimum	16
Tabel 2.6	Lebar Retak Yang Diizinkan	17
Tabel 3.1	Variabel Penelitian	21
Tabel 3.2	Faktor Benda Uji Pull-out	24
Tabel 3.3	Variasi Benda Uji Pull-Out	24
Tabel 3.4	Form Pengujian Pull-Out	24
Tabel 3.5	Faktor Benda Uji Kuat Lentur	25
Tabel 3.6	Rancangan Benda Uji Kuat Lentur	25
Tabel 3.7	Rancangan Benda Uji Kuat Lentur yang digunakan	25
Tabel 3.8	Daftar Analisis Ragam	27
Tabel 3.9	Form Pengujian Lentur pada Balok	28
Tabel 4.1	Analisis Agregat Halus	33
Tabel 4.2	Analisis Agregat Kasar	33
Tabel 4.3	Mix Design $f'c = 20$ Mpa	34
Tabel 4.4	Mix Design $f'c = 30$ Mpa	35
Tabel 4.5	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder mutu beton rencana 20 MPa	36
Tabel 4.6	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder mutu beton rencana 30 MPa	37
Tabel 4.7	Rincian Benda Uji <i>Pull Out</i>	38

Tabel 4.8 Beban Maksimum Pengujian <i>Pull Out</i>	39
Tabel 4.9 Tegangan Lekatan Tulangan Bambu.....	40
Tabel 4.10 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a1b2c1d1	41
Tabel 4.11 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a2b1c1d1	41
Tabel 4.12 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a1b1c1d2	41
Tabel 4.13 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a2b2c1d2	41
Tabel 4.14 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a1b1c2d1	41
Tabel 4.15 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a2b2c2d1	41
Tabel 4.16 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a1b2c2d2	41
Tabel 4.17 Nilai Beban Maksimum Benda Uji Balok a2b1c2d2	41
Tabel 4.18 Nilai P_{max} dan Δ_{max} pada Balok Beton Sederhana	46
Tabel 4.19 Nilai P_{max} Balok Beton Bertulangan Bambu secara Teoritis	47
Tabel 4.20 Nilai Lendutan Aktual dan Teoritis	48
Tabel 4.21 Nilai Beban Maksimum.....	51
Tabel 4.22 Nilai lendutan aktual dan teoritis.....	52
Tabel 4.23 Rancangan Penelitian Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu	58
Tabel 4.24 Rancangan Pembagian Blok Positif Negatif Penelitian	
Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Kait.....	58
Tabel 4.25 Hasil Penelitian Pengujian Kuat Lentur Balok	
Bertulangan Bambu dengan Kait.....	59
Tabel 4.26 Analisis Variansi Pengaruh Utama Faktor BD terhadap	
Kuat Lentur Balok Tulangan Bambu dengan Kait	61

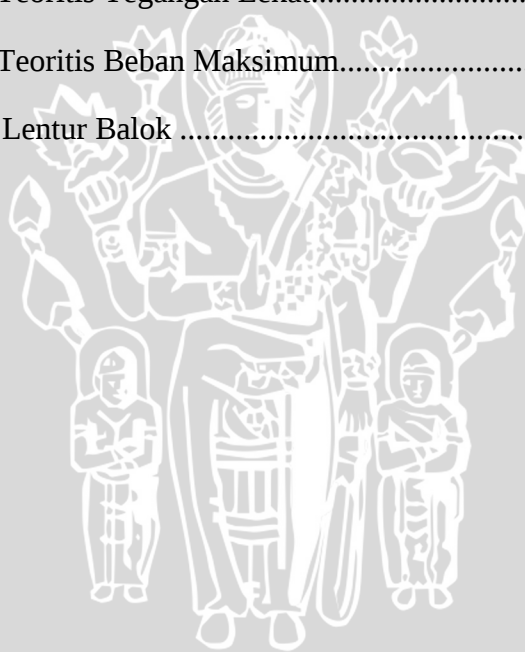
DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan Tegangan-Regangan Bambu dan Baja	10
Gambar 2.2	Bentuk Takikan pada Tulangan Bambu	11
Gambar 2.3	Perilaku Bambu yang Tidak Dilapisi Kedap Air.....	12
Gambar 2.4	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok Beton Bertulangan baja.	14
Gambar 2.5	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok Beton Bertulangan Bambu.	14
Gambar 2.6	Hubungan Beban-Lendutan pada Balok.....	15
Gambar 2.7	Pola Retak Pada Balok	17
Gambar 3.1	Rancangan Benda uji Pull-Out	29
Gambar 3.2	Rancangan Pengujian Pull-Out	29
Gambar 3.3	Benda uji balok dengan variasi tulangan.....	30
Gambar 3.4	Skema pengujian balok sederhana	31
Gambar 3.5	Setting Alat Pengujian Balok Sederhana.....	31
Gambar 3.6	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	32
Gambar 4.1	Pengujian Benda Uji <i>Pull Out</i>	38
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_1b_2c_1d_1$	42
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_1b_1c_1d_2$	42
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_1b_1c_2d_1$	43
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_1b_2c_2d_2$	43
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_2b_1c_1d_1$	44
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_2b_2c_1d_2$	44

Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_2b_2c_2d_1$	45
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_2b_1c_2d_2$	45
Gambar 4.10 Diagram Perbandingan Beban Maksimum Balok Beton Bertulangan Bambu	47
Gambar 4.11 Grafik $P - \Delta$ yang tidak mendapatkan hasil beban maksimum	49
Gambar 4.12 Grafik hubungan $P - \Delta$ yang terjadi penambahan lendutan secara drastis	50
Gambar 4.13 Tulangan bambu yang mengalami selip setelah dilakukan pengujian.....	50
Gambar 4.14 Pola Retak Benda Uji $a_1b_2c_1d_1$	54
Gambar 4.15 Pola Retak Benda Uji $a_1b_1c_1d_2$	54
Gambar 4.16 Pola Retak Benda Uji $a_1b_1c_2d_1$	55
Gambar 4.17 Pola Retak Benda Uji $a_1b_2c_2d_2$	55
Gambar 4.18 Pola Retak Benda Uji $a_2b_1c_1d_1$	56
Gambar 4.19 Pola Retak Benda Uji $a_2b_2c_1d_2$	56
Gambar 4.20 Pola Retak Benda Uji $a_2b_2c_2d_1$	57
Gambar 4.21 Pola Retak Benda Uji $a_2b_1c_2d_2$	57

DAFTAR LAMPIRAN

No. Halaman	Judul	
Lampiran 1	Data Hasil Analisa Gradasi Agregat	67
Lampiran 2	Data Hasil Kadar Air, Berat Jenis, dan Penyerapan Agregat.....	69
Lampiran 3	Data Hasil Berat Isi Agregat.....	71
Lampiran 4	Data Hasil Mix Design.....	72
Lampiran 5	Data Hasil Uji Kuat Tekan Silinder.....	74
Lampiran 6	Data Hasil Uji <i>Hammer Test</i>	77
Lampiran 7	Data Pengujian <i>Pull-Out</i>	85
Lampiran 8	Perhitungan Teoritis Tegangan Lekat.....	92
Lampiran 9	Perhitungan Teoritis Beban Maksimum.....	96
Lampiran 10	Data Hasil Uji Lentur Balok	105



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan juga telah lama dikenal. Beton memiliki beberapa kelebihan antara lain: kuat desaknya tinggi, mudah dibentuk, perawatannya mudah, dapat dibuat komposit. Permintaan akan beton meningkat seiring dengan berkembangnya pembangunan perumahan permukiman, serta gedung bertingkat, maupun jembatan. Semakin tinggi tingkat perkembangan perumahan maka akan semakin tinggi pula kebutuhan akan beton. Beton mempunyai sifat getas, sehingga secara praktis kemampuan untuk menahan tegangan tarik relatif kecil. Untuk memperbaiki sifat beton yang getas tersebut maka kaitannya dengan tegangan tarik beton diberikan tulangan. Jenis tulangan yang selama ini dikenal adalah dari besi beton. Besi beton mampu menahan gaya tarik yang besar, namun disisi lain juga terdapat kekurangan dari besi beton itu sendiri, besi beton termasuk sumber daya alam yang tidak bisa diperbaharui, dengan penggunaannya yang semakin lama semakin tinggi, suatu saat persediaan besi beton akan habis. Besi beton juga termasuk material yang harganya cukup mahal, sehingga memerlukan alternatif lain sebagai penggantinya yang salah satunya adalah menggunakan bambu sebagai ulangan pada beton.

Bambu merupakan tanaman berumpun yang pertumbuhannya sangat cepat. Pada masa pertumbuhan, beberapa spesies dapat tumbuh hingga 1 meter per hari. Bambu dikenal memiliki sifat-sifat umum yang sangat menguntungkan untuk dimanfaatkan karena, batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut. Menurut Sharma (1987), sekarang telah tercatat lebih dari 75 genera dan 1250 spesies bambu di seluruh dunia. Penggunaan bambu sebagai elemen struktur memerlukan informasi yang tepat berkaitan dengan sifat fisika, mekanika dan mikro-strukturalnya. Sifa-sifat penting tersebut diperoleh melalui indifikasi, penyelidikan dan pengujian.

Tetapi masih banyak keraguan untuk pemakaian bambu sebagai tulangan beton. Keraguan pertama timbul karena lekatan antara bambu dan semen kurang baik, selain itu bambu sangat higroskopis, sedang kandungan air pada bambu sangat mempengaruhi kembang susut, yang lebih lanjut akan mempengaruhi lekatan antara bambu dan beton.

Oleh karena itu pemakaian bambu tanpa perlakuan khusus sebagai tulangan beton sangat tidak dianjurkan. Cara yang tepat untuk mengatasi kelemahan di atas dengan menggunakan bambu yang sudah tua usianya sehingga daya serap dan kelembabannya kecil, melapisi batang bambu dengan bahan kedap air seperti vernis, cat dan cairan aspal, tetapi harus dihindari licinnya permukaan bambu akibat pemakaian bahan-bahan tersebut, karena hal itu akan mengurangi daya lekat. Untuk memperbaiki lekatan antara bambu dan beton.

Menurut penelitian Suyadi Budi (2013) tentang kapasitas lentur balok bertulangan bambu bertakikan. Penggunaan takikan pada tulangan bambu menambah kapasitas lentur balok menjadi lebih tinggi sekitar 110% terhadap tulangan bambu Petung polos dan sekitar 118% terhadap tulangan bambu Wulung Polos.

Modifikasi tulangan bambu untuk meningkatkan kuat cabut bambu pada beton juga dilakukan oleh Suyadi (2013). Modifikasi yang dilakukan adalah dengan melilitkan kawat tali dan memberikan tonjolan pada bambu. Dari hasil pengujiannya dapat dibuktikan bahwa modifikasi pada tulangan bambu ini dapat meningkatkan kuat cabut bambu pada beton. Namun, kegagalan yang terjadi pada percobaan tersebut adalah kegagalan geser yang terajdi diantara takikan dan terlepasnya tonjolan dengan kegagalan searah dengan serat bambu.

Penelitian berikutnya yaitu oleh Agustin (2015) yaitu modifiaksi dengan menambahkan kait pada beton bertulangan bambu, kait yang dimaksud yaitu berupa bambu yang sama, berukuran 2 x 5 x 1 cm yang diletakkan dengan selang jarak tertentu. Namun dengan dimensi balok yang tidak begitu panjang yaitu 1 m sehingga kurang begitu terlihat pengaruh yang signifikan dari penelitian tersebut. Terlebih lagi dalam aplikasi di lapangan sangat jarang ada balok yang berukuran panjang 1 m, sehingga diperlukan balok dengan ukuran yang mendekati ukuran sebenarnya dalam aplikasi yang sering dilakukan.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan diatas, maka pada penilitian ini dilakukan penambahan kait pada balok beton bertulangan bambu dengan dimensi balok yang berbeda dan lebih panjang dari sebelumnya. Selain itu juga akan dicoba jenis kait yang lebih bervariasi yaitu menggunakan bambu petung dan menggunakan kayu kamper sebagai jenis kait yang lain. Pelapisan cat dan pasir juga dilakukan dalam penelitian ini, bertujuan untuk meningkatkan kuat lekat bambu dengan beton, serta untuk mengkaji kapasitas lentur pada balok bertulangan bambu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana interaksi yang terjadi antara jarak antar kait dan jenis kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ada pada penelitian ini adalah:

1. Benda uji yang digunakan adalah balok berukuran 18 x 28 x 160 cm.
2. Benda uji *Pull-out* yang digunakan memiliki ukuran 30cm x 15cm x 25cm, pemasangan tulangan serta cara pengujian sesuai dengan perencanaan yang telah ditentukan.
3. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu Petung.
4. Jarak kait yang digunakan adalah 6 cm dan 12 cm.
5. Jenis kait yang digunakan adalah bambu Petung dan Kayu Kamper.
6. Pembebanan dilakukan dengan dua titik pembebanan.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui interaksi yang terjadi antara jarak antar kait dan jenis kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bagi kalangan akademis, sebagai referensi yang dapat dipakai sebagai acuan penelitian yang terkait dengan bambu sebagai tulangan beton.
2. Bagi praktisi lapangan, sebagai sumber informasi dan pertimbangan dalam suatu rencana konstruksi beton yang menggunakan bambu sebagai tulangan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton dan Beton Bertulang

Dalam Teknologi Beton, Kardiono Tjokrodinuljo (2004), beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan *additive*.

Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1971), beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air (tanpa aditif). Sedangkan SK. SNI T – 15 – 1990 – 03 mendefinisikan beton sebagai campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat.

Dalam keadaan mengeras, beton seperti batu karang yang memiliki kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat dibentuk bermacam-macam untuk tujuan dekoratif. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat Tarik yang sangat rendah. Maka dari itu, dibuatlah beton bertulang yang merupakan suatu kombinasi antara beton dan baja dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton. Selain memiliki kuat tarik yang tinggi, baja tulangan juga memiliki kuat tekan yang tinggi sehingga dapat juga menahan kuat tekan bersama-sama dengan beton. Beton bertulang digunakan dalam berbagai bentuk bangunan struktur besar maupun kecil, sebagai contoh dalam pembangunan gedung, jembatan, bendungan, dinding penahan tanah, dan sebagainya.

Faktor-faktor yang membuat beton bertulang banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan antara lain:

1. Beton memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan bahan lainnya.
2. Memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api dan air.
3. Mudah untuk dicetak menjadi bentuk yang sangat beragam.
4. Material penyusunnya mudah didapat.
5. Tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi

Namun selain keunggulan yang telah disebutkan diatas, beton bertulang juga memiliki kelemahan seperti berikut ini:

1. Bentuk yang sudah dibuat sulit diubah.
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap ditempatnya sampai beton tersebut mengeras.
3. Memiliki bobot yang besar (berat).

Kekuatan, keawetan, dan sifat beton lainnya dipengaruhi oleh sifat material-material penyusunnya, nilai perbandingan material-materialnya, cara pengadukan, cara penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan. Sebagian besar material penyusun beton adalah bahan lokal kecuali semen dan bahan kimia tambahan, sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi.

2.2 Material Penyusun Beton

Material-material penyusun beton bertulang antara lain semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan tulangan baja. Berikut penjelasan karakteristik material-material penyusun tersebut.

2.2.1 Semen

Material semen adalah material yang memiliki sifat adhesif (*adhesive*) yang memungkinkan untuk mengikat fragmen-fragmen mineral/agregat-agregat menjadi suatu masa yang padat mempunyai kekuatan. Semen yang mengeras dengan adanya air yang dinamakan dengan semen hidraulis (*hydraulic cement*). Semen jenis ini terdiri dari silikat dan lime yang terbuat dari batu kapur dan tanah liat yang digerinda, dicampur, dibakar dalam pembakaran kapur (*klin*), kemudian dihancurkan menjadi tepung. Semen hidrolik biasa yang dipakai untuk mortar dinamakan semen portland (*portland cement*) (Nawy, 1998).

Fungsi utama semen pada beton adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari. (Tri Mulyono, 2003)

Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tekan yang tinggi apabila mengeras (Nawy, 1998). Berdasarkan

komposisi kimianya, semen portland dibedakan menjadi beberapa jenis seperti pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Jenis-jenis Semen Portland

Jenis Semen	Komponen (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Normal, I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
Modifikasi, II	46	29	6	12	2,8	0,6	3,0	Relatif sedikit pelepasan panas; digunakan untuk struktur besar
Kekuatan awal tinggi, III	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Mencapai kekuatan tinggi pada umur 3 hari
Pemanasan rendah, IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Dipakai pada bendungan beton
Tanah Sulfat, V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspos terhadap sulfat

2.2.2 Agregat

Agregat adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh perekat semen (CUR 2, 1993). Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, yaitu berkisar 60%-70% dari volume beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, di mana agregat yang kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar (Nawy, 1998).

2.2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 5 mm. Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan semen yang minimal.

Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel dan semen. Jenis agregat kasar yang umum antara lain batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan, dan agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat (Nawy, 1998).

2.2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pengisi yang berupa pasir, agregat yang terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan (Dipohusodo, 1999). Ukuran agregat halus bervariasi antara No. 4 dan No. 100 saringan standar ASTM (*American Society of Testing and Materials*). Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung atau bahan-bahan lainnya yang dapat merusak campuran beton.

2.2.3 Air

Fungsi dari air disini antara lain adalah sebagai bahan pencampur antara semen dan agregat. Air harus bebas dari bahan yang bersifat asam basa, dan minyak. Air yang mengandung tumbuh-tumbuhan busuk harus benar-benar dihindari karena dapat mengganggu pengikatan semen. Pada umumnya air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum juga memenuhi syarat bila dipakai untuk membuat beton, dengan pengecualian pada air minum yang banyak mengandung sulfat (Oglesby, 1996).

Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton. Kotoran secara umum dapat menyebabkan :

- Gangguan pada hidrasi dan pengikatan
- Gangguan pada kekuatan dan ketahanan
- Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan
- Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton
- Bercak-bercak pada permukaan beton.

2.3 Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang termasuk *Bamboidae* yaitu salah satu anggota sub familia rumput, sehingga pertumbuhannya cepat (Jansen, 1980). Pada umumnya bambu ditemukan di tempat-tempat terbuka baik di pekarangan, tegalan maupun di hutan. Di dalam pemanfaatan bambu harus diperhatikan faktor-faktor yang dapat menentukan kualitas dan kuantitas produk yang dapat dihasilkan, misalnya faktor jenis bambu, umur, kadar air, berat jenis, kekuatan, keawetan.

Bambu merupakan produk hasil hutan non kayu yang dikenal bahkan sangat dekat dengan kehidupan masyarakat umum karena pertumbuhannya ada di sekeliling kehidupan masyarakat. Bambu termasuk tanaman *Bamboidae* anggota sub familia rumput, memiliki keanekaragaman jenis bambu di dunia sekitar 1250-1500 jenis sedangkan Indonesia memiliki hanya 10% sekitar 154 jenis bambu.

2.3.1 Bambu sebagai tulangan beton

Bambu merupakan sumber bahan bangunan yang dapat diperbaharui dan banyak tersedia di Indonesia. Bambu yang dipanen dengan benar dan diawetkan merupakan bahan yang kuat, fleksibel, dan murah, yang dapat dijadikan bahan alternatif pengganti kayu yang semakin langka dan mahal.

Kelebihan bambu sebagai tulangan pada beton:

- Tulangan bambu jauh lebih murah apabila dibandingkan dengan baja.
- Bambu dapat diperoleh dengan mudah karena tersedia hampir di semua daerah.
- Pertumbuhannya cepat.
- Bambu merupakan bahan konstruksi yang ringan.
- Material yang dapat diperbaharui.
- Memiliki kuat tarik yang tinggi.

Kelemahan bambu sebagai tulangan pada beton:

- Daya lekat dengan beton kurang baik.
- Mudah menyerap air.
- Mudah terbakar.

2.3.1.1 Kuat Tarik Tulangan Bambu

Morisco (1999) mengemukakan bahwa pemilihan bambu sebagai bahan bangunan didasarkan pada harga yang relatif rendah, pertumbuhan cepat, mudah ditanam, mudah dikerjakan, serta keunggulan spesifik yaitu memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Pengujian kuat tarik dilakukan pada bambu Ori, bambu Petung, bambu Wulung dan bambu Tutul. Hasil Pengujiannya ditampilkan dalam Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Gambar 2.1

Tabel 2.2 Tegangan Tarik Bambu Oven

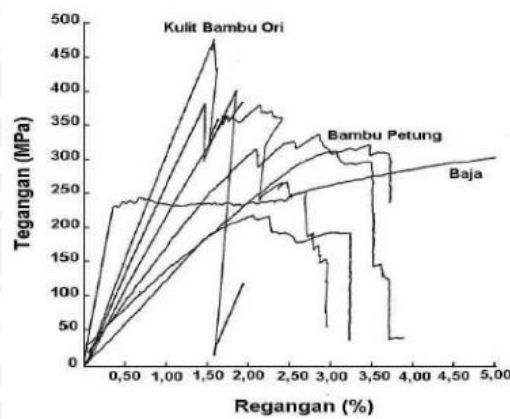
Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Sumber: Morisco, 1999

Tabel 2.3 Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981-3920	294.20
Lentur	686-2940	98.07
Tekan	245-981	78.45

Sumber: Morisco, 1999



Gambar 2.1 Hubungan Tegangan-Regangan Bambu dan Baja

Menurut Rochman (2005), pelapisan tulangan bambu dengan bahan kedap air seperti vernis maupun teknik pembuatan tulangan bambu dengan cara pemilinan dapat mengurangi sifat kembang susut bambu. Pada balok uji dengan tulangan bambu yang berukuran 100x150x1500 mm, beban retak awal meningkat 9,2% pada balok uji dengan tulangan bambu yang divernis dan meningkat 20,1 % pada balok uji dengan tulangan bambu yang dipilin dibandingkan dengan balok uji dengan tulangan bambu polos.

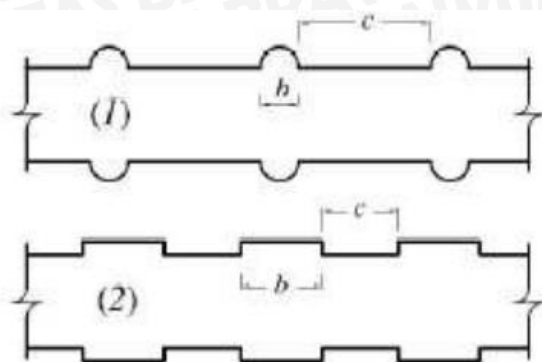
Ghavarni (2004) menyatakan bahwa penelitian mengenai bambu sebagai pengganti tulangan didalam beton bertulang telah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto rico. Lekatan atau adhesi antara tulangan dengan beton mencegah terjadinya selip.

2.3.1.2 Kuat Lekat Tulangan Bambu

Bambu mempunyai afinitas terhadap air, baik dalam bentuk uap maupun cairan. Kayu atau bambu mempunyai kemampuan mengabsorpsi atau desorpsi yang tergantung dari suhu dan kelembaban udara disekelilingnya. Hal itu tergantung dari umur, waktu penebangan dan jenis bambu.

Menurut penelitian Rochman (2007) menunjukkan bahwa terdapat perbaikan kuat lekat tulangan yang cukup setelah bambu diberi perlakuan khusus seperti divernis atau bahkan dipilin. Hal tersebut menjadikan kadar air bambu dapat dijaga dan penyusutan dapat dicegah sehingga gaya gesek permukaan antara tulangan dengan beton menjadi lebih besar dan dapat dipertahankan.

Pedekatan model tulangan bambu dilakukan dengan membuat takikan pada bagian sisi. Tulangan bambu bertakikan dapat mengurangi pengaruh penyusutan atau pengembangan karena kandungan air dengan bagian saling mengunci antara permukaan tulangan dengan beton (Azadeh, 2013).



Sumber : Azadeh, 2013

Gambar 2.2 Bentuk Takikan pada tulangan bambu

- (1) Tipikal bentuk tulangan baja deform
- (2) Bambu Takikan

Menurut Nawy (1986), kuat lekat antara beton dan tulangan dipengaruhi oleh faktor-faktor:

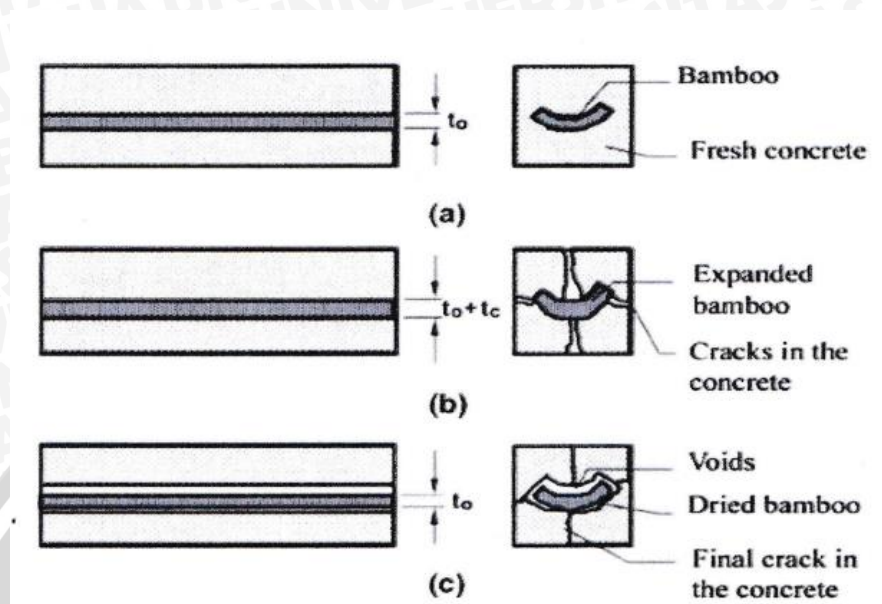
- a. Efek gripping (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton di sekeliling tulangan dan saling geser antara tulangan dengan beton di sekelilingnya.
- b. Tahanan gesekan (friksi) terhadap gelincir dan saling kunci pada saat elemen penguat atau tulangan mengalami tegangan tarik.
- c. Diameter tulangan.
- d. Bahan pelapis (*coating*).

2.3.2 Perlakuan Permukaan pada Bambu

Dilihat dari kekuatannya, bambu sebagai tulangan beton merupakan alternatif yang dinilai layak, minimal untuk struktur ringan dan sedang. Tapi permasalahannya adalah, bambu bersifat higroskopis yang kembang-susutnya cukup besar. Hal ini tentu mengakibatkan penyusutan, lekatannya dengan beton menjadi sangat berkurang sehingga daya dukung struktur menjadi menurun. Lekatan antara tulangan bambu dan beton kurang baik, dapat diatasi dengan penambahan bahan pelapis kedap air. Ada banyak bahan pelapis yang dapat digunakan untuk melapisi permukaan bambu yaitu seperti misalnya vernis dan juga epoxy (Pathurahman, dkk, 2003).

Bambu memiliki kemampuan kembang susut yang tinggi. Oleh karena itu, tulangan bambu diberi perlakuan khusus yaitu dilapisi lapisan kedap air dan kemudian dilumuri pasir sehingga permukaan bambu menjadi kasar dan daya lekat terhadap beton menjadi tinggi. Bambu yang tidak dilapisi cat, akan menyerap air beton seperti pada Gambar 2.3(a). Kemudian bambu mengembang dan menyebabkan retak pada beton seperti pada Gambar

2.3(b). Beton akan mengering dalam jangka waktu yang lama dan retak pada beton akan semakin lebar. Bambu akan menyusut dan membusuk karena terjadi kontak dengan udara luar seperti pada Gambar 2.3(c).



Gambar 2.3 Perilaku Bambu yang Tidak Dilapisi Kedap Air

- (a) Bambu dalam Beton Segar
- (b) Bambu Menyerap Air & Mengembang Pada Masa Perawatan Beton
- (c) Bambu Menyusut Setelah Masa Perawatan Beton

2.3.3 Kayu Kamper sebagai Kait pada Tulangan Beton

Dalam kehidupan kita sehari-hari, kayu merupakan bahan yang sangat sering dipergunakan untuk tujuan penggunaan tertentu. Terkadang sebagai barang tertentu, kayu tidak dapat digantikan dengan bahan lain karena sifat khasnya. Salah satu jenis kayu yang sering digunakan untuk bahan konstruksi adalah kayu kamper.

Kayu kamper telah lama menjadi alternatif bahan bangunan karena harganya lebih terjangkau. Meskipun tidak setahan lama kayu jati dan sekuat bangkirai, kamper memiliki serat kayu yang halus dan kuat. Karena tidak segetas bangkirai, retak rambut jarang ditemui. Karena tidak sekeras bangkirai, kecenderungan berubah bentuk juga besar sehingga tidak disarankan untuk digunakan pada konstruksi berukuran besar. Kayu kamper termasuk kayu dengan Kelas Awet II; III dan Kelas Kuat II; I.

Fatmawati (2012) telah melakukan penelitian untuk membandingkan nilai kuat lentur, kuat geser, kuat tarik, dan kuat tekan dari kayu glugu, kayu kruing, dan kayu kamper. Dalam penelitian tersebut dilakukan melalui empat tahap yaitu tahap persiapan, tahap

pembuatan benda uji, tahap pelaksanaan pengujian, dan tahap analisis hasil pengujian. Berikut data hasil pengujian mengenai kayu kamper akan dijelaskan pada **Tabel 2.4**

Tabel 2.4 Hasil Pengujian Kayu Kamper

	Kuat Lentur (N/mm ²)	Kuat Geser (N/mm ²)	Kuat Tarik (N/mm ²)	Kuat Tekan (N/mm ²)
Teoritis	< 18	< 4,3	< 17	< 24
Uji Lapangan	100,42	3,71	46,27	72,93

2.4 Kapasitas Lentur Pada Balok

Balok merupakan elemen struktur yang mudah mengalami lentur akibat beban luar yang bekerja pada balok tersebut, baik beban mati maupun beban hidup akan menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada balok tersebut. Lentur pada balok merupakan akibat adanya tegangan yang timbul karena adanya beban luar.

Apabila beban yang bekerja pada balok bertambah besar, maka tegangan dan regangan akan bertambah sebanding dengan kemampuan bahan berubah bentuk dan modulus elastisitas bahan. Tiap bahan mempunyai modulus elastisitas tersendiri yang memberikan gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban Tarik atau beban tekan. Bila nilai modulus elastisitas semakin kecil, akan semakin mudah bahan untuk mengalami perpanjangan atau pemampatan. (Gideon dan Vir, 1994)

Kekuatan batas balok dapat tercapai jika balok dibebani sampai mencapai batas keruntuhan, yaitu bila pada balok terjadi retak yang berlebihan dan bila terus dibebani akan terjadi keruntuhan balok. Oleh karena itu penampang balok harus direncanakan sesuai syarat yang diperlukan sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban bekerja.

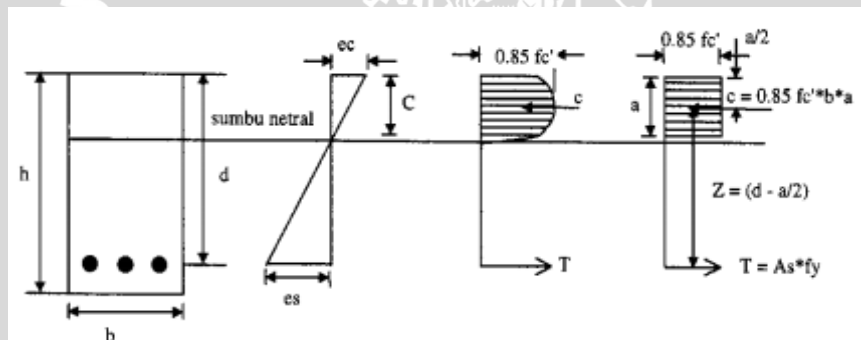
Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur. Setelah itu faktor-faktor lain seperti kapasitas geser, defleksi, retak, dan panjang penyaluran tulangan dianalisis sampai memenuhi persyaratan.

Menurut Nawy (1998), apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut:

- Distribusi regangan dianggap linier, asumsi ini berdasarkan hipotesis bernauli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
- Regangan pada baja dan beton disekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja
- Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil yaitu 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

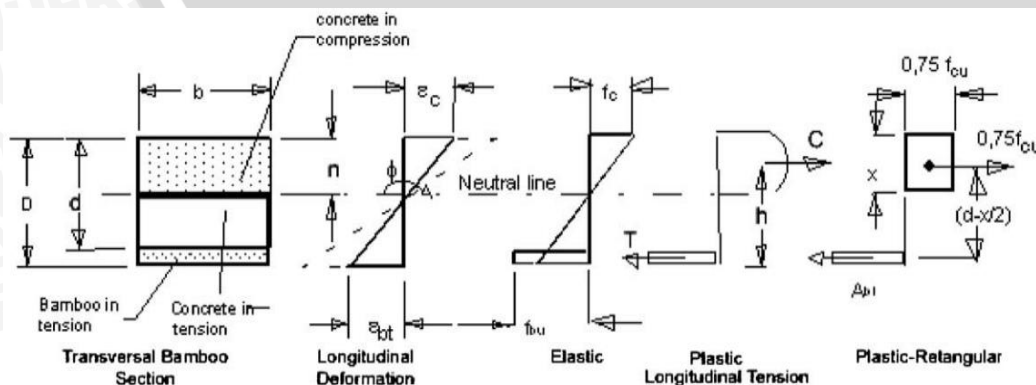
Agar keseimbangan gaya horisontal terpenuhi, gaya tekan C pada beton dan gaya tarik T pada tulangan harus saling mengimbangi, maka $C = T$, distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok Beton Bertulangan Baja

2.5 Analisis Balok Terlentur Bertulangan Bambu

Menurut Ghavami (2005), balok beton bertulangan bambu juga mengalami tahapan distribusi tegangan dan regangan seperti pada Gambar 2.5.

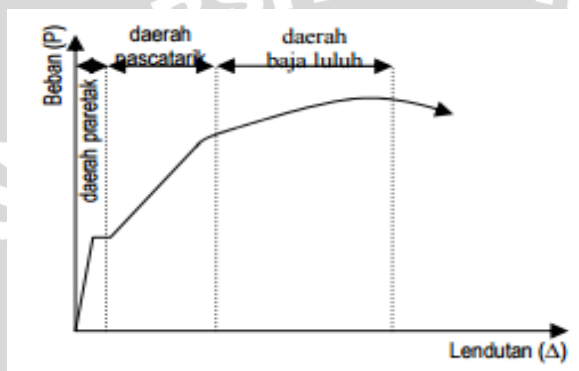


Gambar 2.5 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok Beton Bertulangan Bambu

Pada beton bertulangan bambu dengan menggunakan takikan berupa kait, jarak antar kait juga mempengaruhi gaya lekat antara tulangan bambu dengan beton serta mengurangi kemungkinan terjadinya selip. Semakin kecil jarak antar kait maka gesekan yang diterima dapat ditahan oleh kait yang lebih banyak sehingga gaya gesek menjadi lebih besar dan memperbesar pula tegangan lekat antara tulangan dengan beton. Meningkatnya tegangan lekatan antara tulangan bambu dengan beton dapat meningkatkan momen nominal balok.

2.6 Perilaku Lendutan

Lendutan (defleksi) merupakan salah satu faktor yang menentukan kemampuan layan (*serviceability*) suatu struktur. Menurut Nawy (1998), hubungan beban-defleksi balok beton bertulangan pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilineer seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hubungan Beban-Lendutan pada Balok

Hubungan beban-defleksi pada balok terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture*, yaitu:

1. Daerah I: Taraf Pra Retak, Balok belum terjadi retak akibat pembebanan. Segmen prareta ini berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Kekakuan lentur EI dari balok dapat diestimasi dengan modulus young E_c dari beton dan momen inersia penampang sebelum retak. Daerah prareta berhenti pada saat mulainya retak lentur pertama, tegangan beton mencapai kekuatan modulus *rupture*-nya (f_r).
2. Daerah II: Taraf Beban PascaTarik (Pascareta). Hampir semua balok terletak pada daerah ini pada saat beban kerja. Balok yang di bebani pada tumpuan sederhana, mengalami retak yang semakin lebar dan dalam pada lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi letak lentur, kontribusi kekuatan tarik beton sudah hilang. Kekuatan lentur penampangnya berkurang dan akibatnya kurva beban-defleksi pada daerah ini semakin landai dibandingkan daerah taraf prareta. Semakin besar retaknya, akan semakin berkurang kekakuannya sampai mencapai suatu nilai yang berupa *lower-bound* (batas bawah) sehubungan dengan momen inersia penampang retak.

3. Daerah III: Taraf Retak *Postserviceability* dan Keadaan Limit Perilaku Lendutan. Diagram beban-defleksi pada daerah III ini jauh lebih datar daripada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini disebabkan karena hilangnya kekakuan penampang akibat retak yang cukup banyak dan lebar di sepanjang bentang. Apabila beban terus-menerus bertambah, maka regangan pada tulangan tarik (ϵ_s) akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya (ϵ_y) tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya mulai leleh dapat dikatakan bahwa telah runtuh secara struktural. Balok ini terus-menerus mengalami defleksi tanpa adanya tambahan beban dan retak semakin terbuka sehingga garis netral mendekati serat tepi tekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan sekunder yang dapat mengakibatkan kehancuran total pada beton.

Adapun menurut SNI 2002, lendutan pada suatu struktur memiliki batas lendutan maksimum seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Lendutan izin maksimum

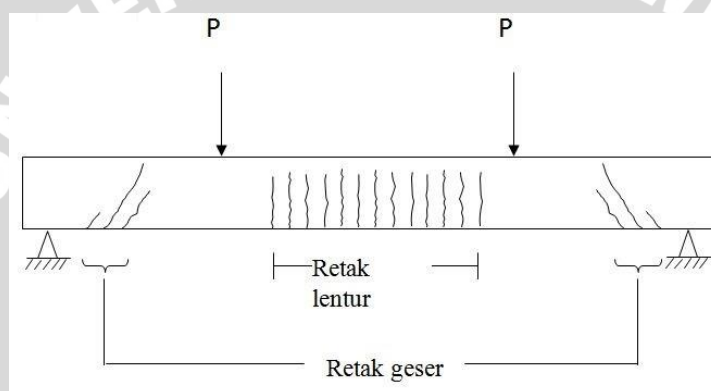
Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{\ell^a}{180}$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{\ell}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) ^c	$\frac{\ell^b}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$\frac{\ell^d}{240}$
^a Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase. ^b Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan. ^c Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5(2(5)) atau 11.5(4(2)), tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau. ^d Tetapi tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.		

Sumber: SNI, 2002

2.7 Pola Retak

Menurut Jack C. McCormac (2004) terdapat tiga jenis keretakan yang terjadi pada balok beton bertulang, yaitu:

1. Retak miring yang terjadi akibat geser pada badan balok beton bertulang. Retak ini sering terjadi pada balok beton prategang dan non prategang. Jenis retak miring yang paling umum adalah retak geser lentur.
2. Retak lentur yang terjadi hampir tegak lurus terhadap sumbu balok dan terjadi pada daerah momen lentur yang besar. Retak terbentuk pada sisi bawah di tengah bentang. Pada penelitian ini, jenis retak ini yang akan diidentifikasi.
3. Retak punter, cukup miring dengan retak geser terkecuali retak punter ini melingkar di sekeliling balok.



Gambar 2.7 Pola Retak Pada Balok

Lebar retak maksimum yang dapat diterima bervariasi dari sekitar 0,004-0,016 in, tergantung lokasi, jenis struktur, tekstur permukaan beton, iluminasi, dan faktor-faktor lain. Komite ACI 224, dalam laporannya tentang retak, memperlihatkan sejumlah perkiraan lebar retak maksimum yang diizinkan untuk batang beton bertulang dalam berbagai situasi dapat dilihat pada table berikut (Jack C. McCormac, 2004):

Tabel 2.6 Lebar Retak Yang Diizinkan

Batang yang bersentuhan dengan	Lebar retak yagn diizinkan (inch)
Udara kering	0,016
Udara lembab, tanah	0,012
Larutan bahan kimia	0,007
Air laut dan percikan air laut	0,006
Digunakan pada struktur penahan air	0,004

2.8 Hasil Penelitian Terdahulu

1. Jurnal berjudul “Aplikasi Bambu Pilinan sebagai Tulangan Balok Beton” disusun oleh Jauhar Fajrin Pathurahman dan Dwi Anggraini Kusuma dari Universitas Mataram pada tahun 2003. Pada penelitian ini dibuat benda uji balok sebanyak lima buah dengan ukuran 15 x 20 x 200 cm. Balok diberi dua buah tulangan bambu pilinan dengan diameter 12 mm dengan kuat tarik (f_y) sebesar 223,33 MPa. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *four point load*.

Hasil penelitian:

- Keruntuhan yang terjadi pada benda uji balok beton diawali dengan retak lentur pada beton yang ditandai dengan pola retak tegak lurus.
 - Nilai rata-rata perbandingan antara momen eksperimen dengan momen perhitungan (teoritis) sebesar 115,26%. Hal ini menunjukkan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana.
2. Jurnal berjudul “Model Balok Beton Bertulangan Bambu sebagai Pengganti Tulangan Baja” disusun oleh Agus Setiya Budi, Kusno Adi Sambowo, dan Ira Kurniawati dari Universitas Sebelas Maret pada tahun 2013. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini berupa pengujian kapasitas lentur balok beton bertulangan bambu dengan menggunakan tipe tulangan bambu polos dan tipe tulangan bambu takikan masing-masing pada jenis bambu Petung dan Wulung. Sebagai pembanding, dibuat benda uji balok beton bertulangan baja dengan diameter 10 mm. Balok beton berukuran 100 x 150 x 1500 mm dengan metode pengujian *fourth point loading system*.

Hasil penelitian:

- Nilai kuat tarik rata-rata bilah bambu Petung adalah 240,54 MPa, kuat tarik rata-rata bilah bambu Wulung adalah 182,73 MPa, dan kuat tarik rata-rata tulangan baja polos adalah 378,4 MPa.
 - Tulangan bambu takikan dapat meningkatkan kapasitas lentur balok, yaitu sekitar 110% terhadap tulangan bambu Petung polos dan sekitar 118% terhadap tulangan bambu Wulung polos.
 - Kapasitas lentur balok tulangan bambu Petung takikan sekitar 41% dan kapasitas lentur balok tulangan bambu Wulung takikan sekitar 28% terhadap kapasitas balok tulangan baja polos.
3. Jurnal berjudul “Kuat Lekat Tulangan Bambu Wulung dan Petung Takikan pada Beton Normal” disusun oleh Agus Setiya Budi dan Sugiyarto dari Universitas Sebelas Maret

pada tahun 2013. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Tulangan bambu takikan berdimensi panjang 50 cm, lebar 1,5 cm, dan tebal 0,52 cm ditanam pada pusat beton silinder sedalam 15 cm. Sebagai pembanding, digunakan tulangan baja polos berdiameter 10 mm.

Hasil penelitian:

- Nilai kuat lekat rata-rata beton dengan tulangan baja polos adalah 0,127 MPa.
- Nilai kuat lekat rata-rata beton dengan tulangan bambu Petung takikan sejajar sebesar 0,004818 MPa dan takikan tidak sejajar sebesar 0,007758 MPa.
- Nilai kuat lekat rata-rata beton dengan tulangan bambu Wulung takikan sejajar sebesar 0,002433 MPa dan takikan tidak sejajar sebesar 0,007076 MPa.

4. Jurnal berjudul “Pengaruh Modifikasi Tulangan Bambu Gombong terhadap Kuat Cabut Bambu pada Beton” disusun oleh Herry Suryadi, Matius Tri Agung, dan Eigya Bassita Bangun dari Universitas Katolik Parahyangan pada tahun 2013. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi tulangan bambu untuk meningkatkan kuat cabut bambu pada beton dengan cara melilitkan kawat tali dan memberikan tonjolan pada tulangan bambu. Uji kuat cabut dilakukan dengan membenamkan tulangan bambu sedalam 15 cm pada silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Hasil penelitian:

- Modifikasi tulangan bambu mampu meningkatkan kuat cabut antara bambu dan beton, hal ini ditunjukkan dengan besarnya rata-rata tegangan cabut tulangan bambu yang dimodifikasi lebih besar dibandingkan dengan tulangan bambu polos.
- Ragam kegagalan pada tulangan bambu yang dililit dengan kawat adalah kegagalan tumpu pada bambu. Lilitan kawat sudah tidak dapat lagi mempertahankan posisinya sehingga tulangan bambu terlepas dari lilitan kawat dan akhirnya tulangan bambu tercabut

Ragam kegagalan pada tulangan bambu yang diberi tonjolan adalah kegagalan geser pada tonjolan yang ditandai dengan terlepasnya tonjolan tersebut dengan kegagalan searah dengan serat bambu.

2.9 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Terdapat interaksi antara jenis kait dan jarak kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2015-2016.

3.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas (*Independent variable*); variabel yang perubahannya bebas dilakukan peneliti.
2. Variabel Terikat (*dependent variable*); variabel yang tergantung pada variabel bebas.

Tabel 3.1 Variabel dalam penelitian

No.	Pengujian	Variabel Bebas	Variabel Terikat
1.	Pengujian <i>Pull Out</i>	- Penggunaan mutu beton 20 MPa; 30 MPa - Penggunaan jenis kait bambu petung; kayu kamper - Penambahan kait dengan jarak 6 cm; 12cm	Kuat tekan menahan gaya cabut (<i>pull out</i>)
2.	Pengujian lentur pada balok	- Penggunaan jenis kait bambu petung; kayu kamper - Penambahan kait dengan jarak 6 cm; 12cm	Kuat lentur, lendutan, pola retak, lebar retak pada kondisi terakhir

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Satu set ayakan untuk analisa agregat.
2. Timbangan dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 100 gram dan timbangan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.

3. Cetakan balok beton bertulang dengan ukuran yang telah ditentukan.
4. *Concrete mixer* (mesin pencampur beton).
5. Satu set alat penguji slump beton.
6. Alat pengukur besarnya lendutan berupa LVDT.
7. Mesin uji tekan silinder.
8. Sendok semen, talam.
9. Cetakan silinder.
10. *Hydraulic jack* dan *Load cell* untuk pengujian *pull-out*.
11. Jangka sorong dan mistar pengukur.
12. Rangka penguji untuk menempatkan benda uji pada saat pengujian (*Loading frame*).
13. *Hydraulic jack* (dongkrak hidrolik) dan *Load cell*, untuk pemberian beban secara bertahap.

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu:

1. Semen Gresik PPC
2. Air PDAM Kota Malang
3. Agregat halus
4. Agregat kasar
5. Bambu Petung
6. Bendrat
7. Cat
8. *Lem epoxy* merk Avian
9. Kayu Kamper
10. Besi polos

3.4 Analisa Bahan

3.4.1 Semen

Semen Gresik PPC yang tidak dilakukan pengujian khusus digunakan sebagai bahan pada campuran pembuatan beton, apabila semua semen tidak dalam keadaan menggumpal atau mengeras maka semen tersebut dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan.

3.4.2 Air

Air yang digunakan tidak dilakukan pengujian khusus dikarenakan berasal dari air sumur dengan menggunakan pompa.



3.4.3 Agregat

Agregat yang digunakan diusahakan mendekati keadaan yang ada di lapangan dan dijaga dari kotoran organik yang dapat merusak kualitas beton. Pengujian agregat yang dilakukan meliputi analisa ayakan, berat jenis, dan penyerapan berdasarkan standar ASTM C-33.

3.4.4 Tulangan

Bambu petung yang berasal dari Kota Malang digunakan sebagai tulangan beton dan bambu petung yang digunakan tidak dilakukan pengujian khusus.

3.4.5 Beton

Mutu beton yang digunakan sebesar $f'c = 20$ MPa dan $f'c = 30$ Mpa.

3.4.6 Kait

Kait yang digunakan terdiri dari bambu petung dan kayu kamper. Pengujian khusus terhadap bambu petung dan kayu kamper tidak dilakukan.

3.4.7 Besi Polos

Besi polos digunakan sebagai sengkang pada balok beton bertulangan bambu dan memiliki ukuran $\emptyset 6$.

3.5 Rancangan Penelitian

Balok beton bertulangan bambu yang memiliki ukuran 18 cm x 28 cm x 160 cm akan dibuat sebagai benda uji, dengan variasi sampel sebagai berikut:

- Faktor A = mutu beton 20 MPa dan 30 MPa.
- Faktor B = jarak kait 6 cm dan 12 cm.
- Faktor C = rasio tulangan 0,8% dan 1,6%.
- Faktor D = jenis kait adalah bambu petung dan kayu kamper.

3.5.1 Rancangan Benda Uji Tekan

Berikut ini rancangan benda uji tekan yang akan dilaksanakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Benda uji tekan dibuat dengan mutu 20 MPa dan 30 MPa.
2. Benda uji di cetak menggunakan silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm
3. Masing-masing benda uji akan dicetak sebanyak tiga kali tiga kali.

3.5.2 Rancangan Benda Uji Pull-Out

Benda uji *pull-out* akan dicetak menggunakan cetakan dengan ukuran 30cm x 15cm x 25 cm. Faktor yang digunakan untuk pengujian *pull-out* dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Faktor Benda Uji *Pull-out*

Faktor	Taraf	Keterangan	
A (Mutu Beton)	a ₁	20 MPa	-
	a ₂	30 MPa	+
B (Jarak Kait)	b ₁	6 cm	-
	b ₂	12 cm	+
D (Jenis Kait)	d ₁	Bambu Petung	-
	d ₂	Kayu Kamper	+

Pengujian *pull-out* yang akan dilakukan di dalam penelitian ini hanya menggunakan tiga faktor yaitu mutu beton, jarak kait dan jenis kait. Variasi benda uji *pull-out* seperti yang ada pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variasi Benda Uji Pull-Out

	a ₁		a ₂	
	b ₁	b ₂	b ₁	b ₂
d ₁	a ₁ b ₁ d ₁	a ₁ b ₂ d ₁	a ₂ b ₁ d ₁	a ₂ b ₂ d ₁
d ₂	a ₁ b ₁ d ₂	a ₁ b ₂ d ₂	a ₂ b ₁ d ₂	a ₂ b ₂ d ₂

Tabel 3.4 Form Pengujian *Pull-Out*

No	Benda Uji	Beban(kN)
1	a ₁ b ₁ d ₁ 1	
2	a ₁ b ₁ d ₁ 2	
3	a ₁ b ₁ d ₂ 1	
4	a ₁ b ₁ d ₂ 2	
5	a ₁ b ₂ d ₁ 1	
6	a ₁ b ₂ d ₁ 2	
7	a ₁ b ₂ d ₂ 1	
8	a ₁ b ₂ d ₂ 2	
9	a ₂ b ₁ d ₁ 1	
10	a ₂ b ₁ d ₁ 2	
11	a ₂ b ₁ d ₂ 1	
12	a ₂ b ₁ d ₂ 2	
13	a ₂ b ₂ d ₁ 1	
14	a ₂ b ₂ d ₁ 2	
15	a ₂ b ₂ d ₂ 1	
16	a ₂ b ₂ d ₂ 2	

3.5.3 Rancangan Benda Uji Kuat Lentur

Benda uji dibuat berdasarkan perhitungan sampel dengan percobaan faktorial sebagian. Keuntungan dari rancangan setengah faktorial yaitu terdapat satu derajat kebebasan untuk tiap interaksi dan juga dapat menghemat waktu serta biaya penelitian. Percobaan ini dapat mengambil separuh dari total rancangan faktorial yang sebenarnya akan dilaksanakan. Hal yang pertama akan dilakukan dalam rancangan percobaan ini yaitu pemilihan kontras penentu yang akan dikorbankan dan diabaikan pengaruhnya didalam percobaan, selanjutnya membuat bentuk kedua blok yang sesuai dengan kontras tersebut dan memilih salah satu yang akan digunakan dalam percobaan.

Percobaan faktorial $2^k = 2^4$ merupakan faktor yang menggunakan setengah replikasi. Faktor benda uji yang digunakan dalam uji kuat lentur terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faktor Benda Uji Kuat Lentur

Faktor	Taraf	Keterangan	
A (Mutu Beton)	a ₁	20 MPa	-
	a ₂	30 MPa	+
B (Jarak Kait)	b ₁	6 cm	-
	b ₂	12 cm	+
C (Rasio Tulangan)	c ₁	0,80%	-
	c ₂	1,60%	+
D (Jenis Kait)	d ₁	Bambu Petung	-
	d ₂	Kayu Kamper	+

Dengan asumsi:

- 1 = Taraf rendah (-)
- 2 = Taraf tinggi (+)

Tabel 3.6 Rancangan Benda Uji Kuat Lentur

		a ₁		a ₂	
		b ₁	b ₂	b ₁	b ₂
c ₁	d ₁	a ₁ b ₁ c ₁ d ₁	a ₁ b ₂ c ₁ d ₁	a ₂ b ₁ c ₁ d ₁	a ₂ b ₂ c ₁ d ₁
	d ₂	a ₁ b ₁ c ₁ d ₂	a ₁ b ₂ c ₁ d ₂	a ₂ b ₁ c ₁ d ₂	a ₂ b ₂ c ₁ d ₂
c ₂	d ₁	a ₁ b ₁ c ₂ d ₁	a ₁ b ₂ c ₂ d ₁	a ₂ b ₁ c ₂ d ₁	a ₂ b ₂ c ₂ d ₁
	d ₂	a ₁ b ₁ c ₂ d ₂	a ₁ b ₂ c ₂ d ₂	a ₂ b ₁ c ₂ d ₂	a ₂ b ₂ c ₂ d ₂

Dengan demikian maka rancangan yang digunakan adalah percobaan yang bernilai negatif atau percobaan bertaraf rendah seperti yang ada pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Rancangan Benda Uji Kuat Lentur yang digunakan

		a ₁		a ₂	
		b ₁	b ₂	b ₁	b ₂
c ₁	d ₁	+	-	-	+
	d ₂	-	+	+	-
c ₂	d ₁	-	+	+	-
	d ₂	+	-	-	+

Pengaruh utama faktor BD dari rancangan percobaan diatas dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kontras BD} = (a_1, b_1, c_2, d_1 + a_2, b_1, c_1, d_1 + a_1, b_2, c_2, d_2 + a_2, b_2, c_1, d_2) - (a_1, b_1, c_1, d_2 + a_2, b_1, c_2, d_2 + a_1, b_2, c_1, d_1 + a_2, b_2, c_2, d_1). \quad (3-1)$$

Pemborosan dapat dihindari dengan cara mengabaikan pengaruh dari taraf tertentu yang tidak berarti atau tidak berpengaruh pada rancangan percobaan faktorial diatas. Untuk mempermudah, dapat dijelaskan pada persamaan eliminasi dibawah ini:

$$\begin{array}{rcll} \text{Kontras BD} & & & \\ \text{A1,B1,C2,D1} & & & 2A1 \\ \text{A2,B1,C1,D1} & = & 2B1D1 & + \quad 2B2D2 & + \quad 2A2 \\ \text{A1,B2,C2,D2} & & & & 2C1 \\ \text{A2,B2,C1,D2} & & & & 2C2 \\ \\ \text{A1,B1,C1,D2} & & & & 2A1 \\ \text{A2,B1,C2,D2} & = & 2B1D2 & + \quad 2B2D1 & + \quad 2A2 \\ \text{A1,B2,C1,D1} & & & & 2C1 \\ \text{A2,B2,C2,D1} & & & & 2C2 \\ \hline & & 2B1D1 & + \quad 2B2D2 & - \quad 2B1D2 & - \quad 2B2D1 \end{array}$$

Persamaan eliminasi diatas menjelaskan bahwa faktor A dan C diseimbangkan sehingga faktor B dan D yang ingin dikaji dapat dihasilkan. Rancangan dasar RAL (Rancangan Acak Linier) dapat digunakan untuk prosedur analisis ragam percobaan faktorial yang terdiri dari empat faktor (faktor A, faktor B, faktor C, dan faktor D). Berikut ini merupakan tahap-tahap RAL:

❖ Tahap 1

Hitung Jumlah Kuadrat (JK) faktor utama (faktor A, B, C, dan D) dan Jumlah Kuadrat Interaksi (AC dan BD) dengan k, n masing-masing adalah jumlah faktor dan jumlah ulangan, maka:

$$JK(BD) = \frac{[[1] + ac + bd + abcd - ab - ad - bc - cd]^2}{2^{k-1}n}$$

❖ Tahap 2

Hitung Jumlah Kuadrat Total (JKT), Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP), dan Jumlah Kuadrat Galat (JKG) seperti pada prosedur RAL (Rancangan Acak Linier).

$$JKT = \sum \sum \sum y_{ijk}^2 - \frac{1}{2} \frac{y^2}{2^k n}$$

$$JKP = JK(A) + JK(B) + JK(C) + JK(D) + JK(AC) + JK(BD)$$

$$J_{KG} = J_{KT} - J_{KP}$$

❖ Tahap 3

Tentukan derajat bebas (DB) masing-masing dimana a, b, c, dan d masing-masing adalah jumlah taraf faktor A, jumlah taraf faktor B, jumlah taraf faktor C, dan jumlah taraf faktor D, maka:

$$\text{DB faktor (BD)} = (b - 1)(d - 1)$$

$$\text{DB Total} = \frac{1}{2} nabcd - 1$$

$$\text{DB Perlakuan} = \text{DB(A)} + \text{DB(B)} + \text{DB(C)} + \text{DB(D)} + \text{DB(AC)} + \text{DB(BD)}$$

$$\text{DB Galat} = \text{DB Total} - \text{DB Perlakuan}$$

❖ Tahap 4

Menentukan kuadrat tengah (KT) masing-masing melalui pembagian antara JK masing-masing perlakuan dan derajat bebasnya, yaitu:

$$\text{KT (BD)} = \text{JK (BD)} / \text{DB (BD)}$$

$$\text{KT (G)} = \text{JK (G)} / \text{DB (G)}$$

❖ Tahap 5

Menghitung f hitung melalui pembagian antara KT masing-masing perlakuan dengan KT Galat, yaitu:

$$f \text{ hitung (BD)} = \text{KT (BD)} / \text{KT (G)}$$

❖ Tahap 6

Daftar analisis ragam disusun seperti yang ada pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Daftar Analisis Ragam

Perilaku	JK	DB	KB	f hitung
Pengaruh Utama				
A				
B				
C				
D				
Interaksi				
AC				
BD				
Galat				
Jumlah				

Hasil defleksi atau lendutan dari benda uji yang telah di uji akan dicatat pada form pengujian lentur pada balok seperti yang ada pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Form Pengujian Lentur pada Balok

Benda Uji: $a_1b_1c_1d_1$		
Beban (Kg)	Defleksi (mm)	
	1	2
		3

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Pembuatan Tulangan Bambu

Langkah-langkah pembuatan tulangan bambu adalah sebagai berikut:

1. Bambu dipotong untuk dijadikan tulangan yang memiliki ukuran 2 x 1 x 160 cm.
2. Kait dipasang pada tulangan bambu dengan menggunakan lem eproxy pada bagian yang telah ditentukan.
3. Melakukan pelapisan cat dan pasir pada tulangan bambu.
4. Tulangan bambu yang telah selesai di lapisi cat dan pasir akan di keringkan.

3.6.2 Pengujian Kuat Tekan

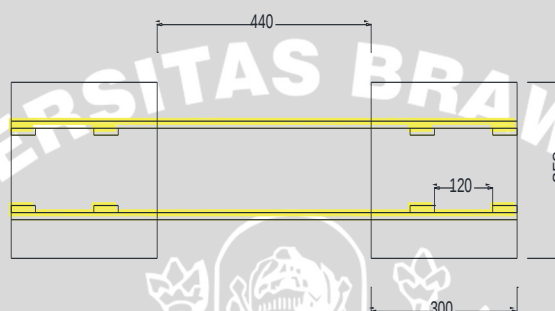
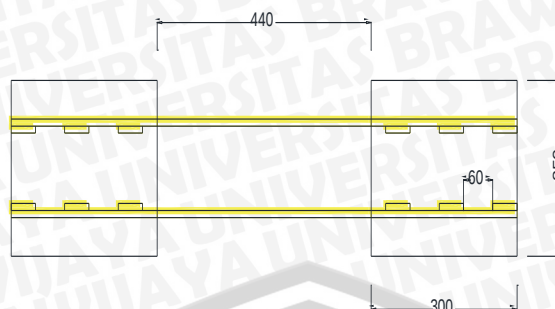
Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam pelaksanaan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

1. Benda uji diletakkan pada mesin secara tepat pada mesin tes kuat tekan beton.
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan.
3. Pembebanan dilakukan pada benda uji sampai benda uji mengalami keretakan dan catat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

3.6.3 Pengujian Pull-Out

Langkah-langkah pembuatan dan pengujian benda uji *pull out* adalah sebagai berikut:

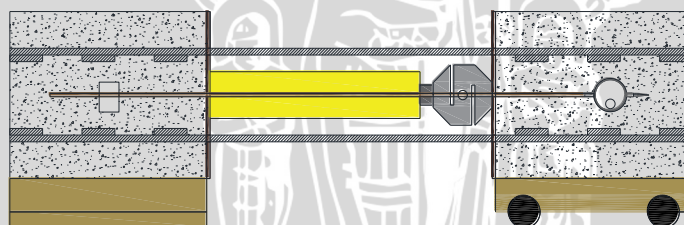
1. Mempersiapkan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji *pull out*.
2. Menyiapkan cetakan balok berukuran 30cm x 15cm x 25cm sebanyak masing-masing 2 buah tiap benda uji *pull out*.
3. Tulangan bambu dipasang dengan berbagai variasi ke dalam cetakan balok seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3.1**.
4. Bahan-bahan dicampurkan dengan mesin pencampur beton.
5. Campuran beton dituangkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan.
6. Benda uji yang berumur 28 hari, akan diuji dengan cara diberi beban seperti pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.1 Rancangan Benda uji *Pull-Out*

(a) Benda uji Pull-Out dengan jarak antar kait 6 cm.

(b) Benda uji Pull-Out dengan jarak antar kait 12 cm.

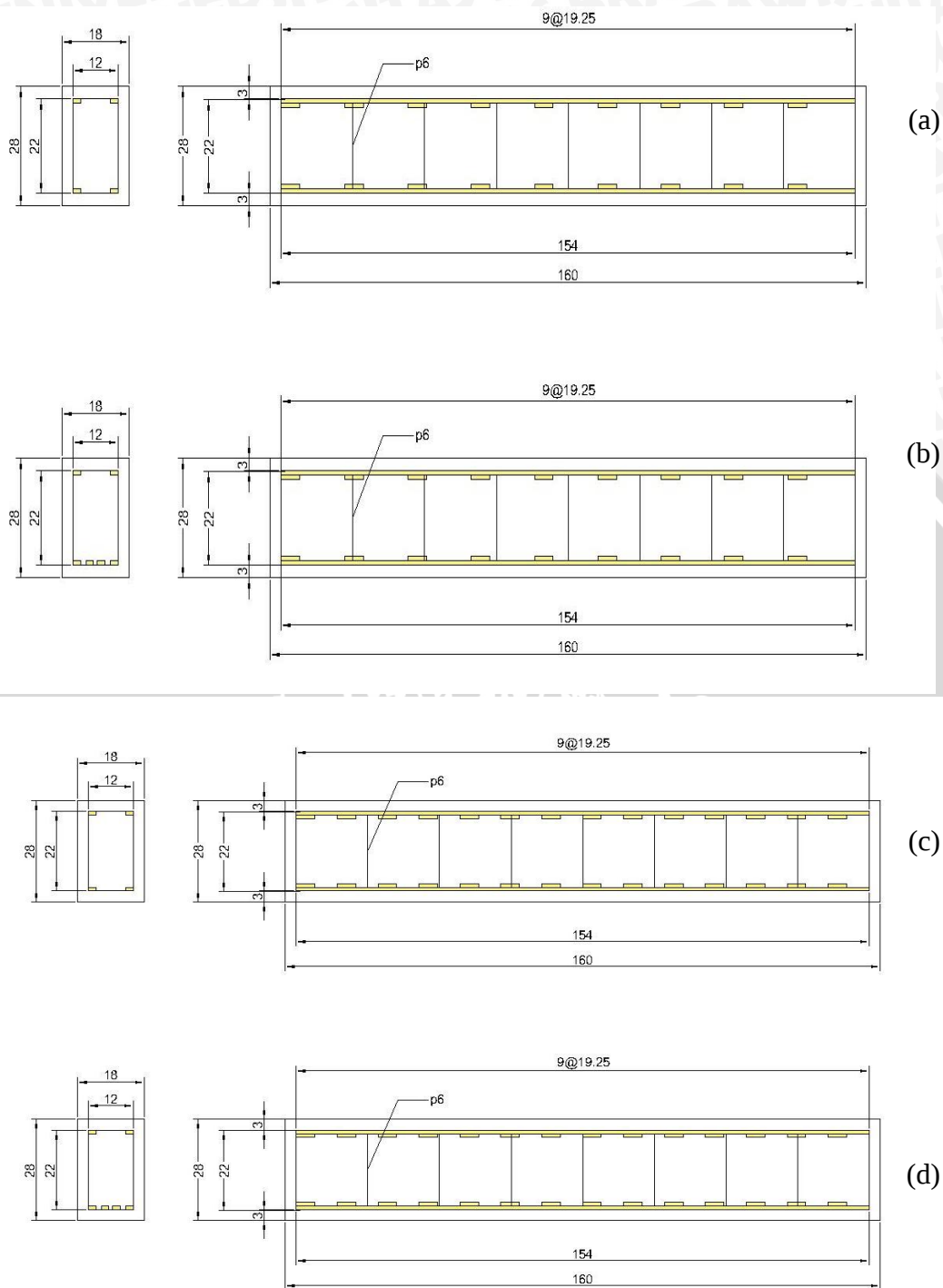


Gambar 3.2 Rancangan Pengujian *Pull-Out*.

3.6.4 Pengujian Kuat Lentur

Tahap-tahap dalam pembuatan benda uji balok adalah:

1. Menyiapkan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji balok.
2. Menyiapkan bekisting dengan ukuran 18 x 28 x 160 cm dan memasang detail tulangan seperti pada Gambar 3.3.
3. Pencampuran bahan-bahan dengan mesin pencampur beton.
4. Menuangkan campuran beton dengan cetakan yang telah disiapkan.



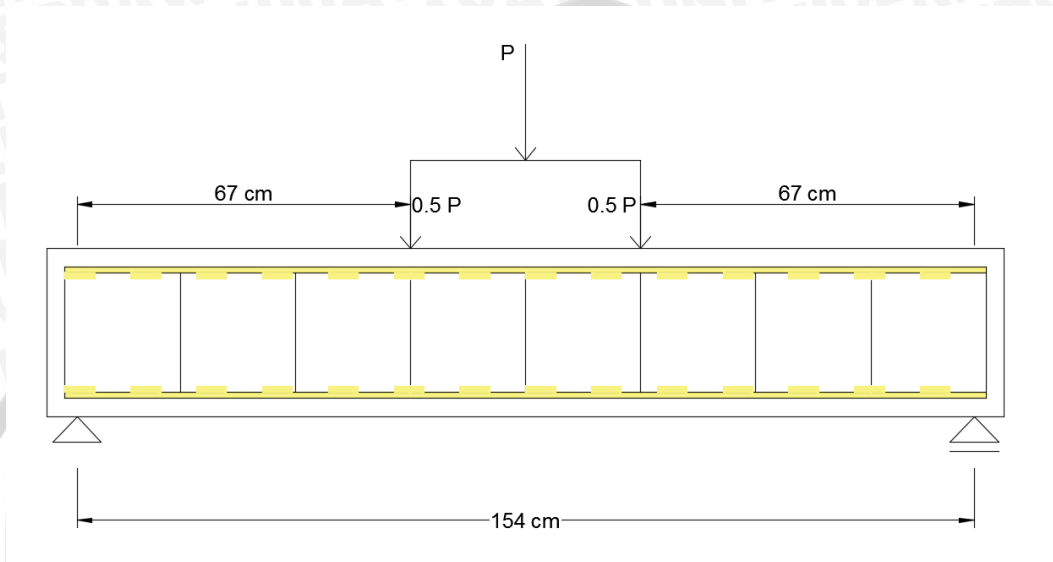
Gambar 3.3 Benda uji balok dengan variasi tulangan

- (a) Benda uji balok dengan rasio tulangan 0,8% dan jarak kait 12 cm
- (b) Benda uji balok dengan rasio tulangan 1,6% dan jarak kait 12 cm
- (c) Benda uji balok dengan rasio tulangan 0,8% dan jarak kait 6 cm
- (d) Benda uji balok dengan rasio tulangan 1,6% dan jarak kait 6 cm

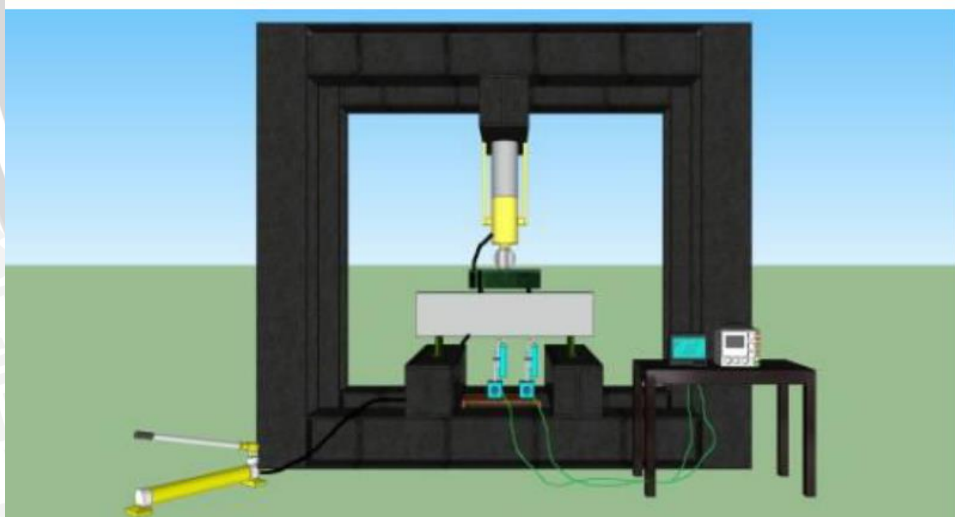
Tahap-tahap dalam pengujian benda uji balok adalah:

1. Balok Beton Sederhana

Pelaksanaan pengujian benda uji dilakukan pada saat balok umur 28 hari. Benda uji balok beton ditempatkan *loading frame* dengan skema pembebanan seperti pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.

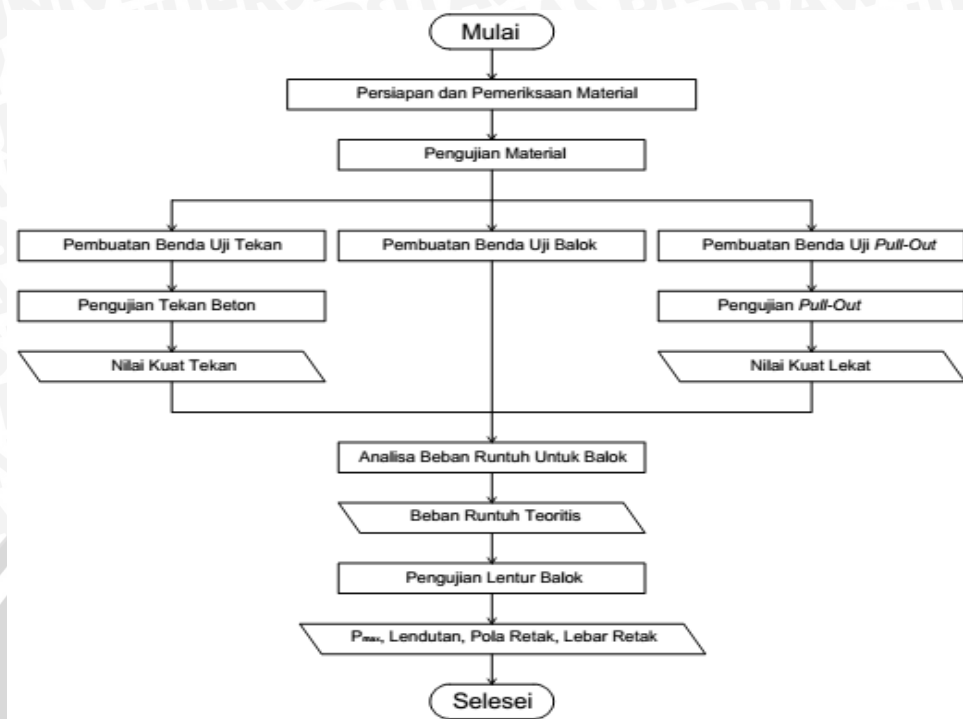


Gambar 3.4 Skema pengujian balok sederhana



Gambar 3.5 Setting Alat Pengujian Balok Sederhana

3.7 Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Tahapan Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Agregat Halus

Analisis agregat halus meliputi analisis gradasi dan modulus kehalusan, berat isi, kadar air, serta berat jenis dan penyerapan. Hasil dari analisis agregat halus ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Analisis Agregat Halus

Material	Analisis	Nilai	Satuan
Agregat Halus	Kadar air	1,805	%
	Berat isi (Rodded)	1,563	gr/cc
	Berat isi (Shoveled)	1,453	gr/cc
	Berat jenis jenuh kering permukaan	2,644	
	Penyerapan air	0,361	%
	Gradasi	Zona 1	
	Modulus Kehalusan	3,625	

4.2 Analisis Agregat Kasar

Analisis agregat kasar meliputi analisis gradasi dan modulus kehalusan, berat isi, kadar air, serta berat jenis dan penyerapan. Hasil dari analisis agregat halus ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisis Agregat Kasar

Material	Analisis	Nilai	Satuan
Agregat Kasar	Kadar air	4,199	%
	Berat isi (Rodded)	1,453	gr/cc
	Berat isi (Shoveled)	1,297	gr/cc
	Berat jenis jenuh kering permukaan	2,406	
	Penyerapan air	2,603	%
	Gradasi	Zona 3	
	Modulus Kehalusan	3,399	

4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Penelitian ini menggunakan variasi dalam mutu beton ($f'c$) yaitu 30 Mpa dan 20 Mpa. Mix design dalam penelitian ini digunakan untuk merencanakan mutu beton yang akan di hasilkan sesuai dengan nilai yang di inginkan. Tabel mengenai hasil mix design dalam penelitian ini di tampilkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Mix Design $f'c = 20$ Mpa

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI	
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	20	Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-	
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64)	12	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	32	Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)	
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir	
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2 atau Grafik 1/2	0,55	
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6	
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180 mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	40 mm	
11	Kadar Air Bebas	Tabel 6	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	(11) : (8) atau (11) : (7)	372,727	kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275 kg/m ³	
15	FAS yg disesuaikan	-	-	
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 – 6	Zona 1	
17	Persen agregat halus	Grafik 13 – 15	45%	
18	Berat Jenis Relatif Agregat (SSD)	Diketahui	2,513	kg/m ³
19	Berat isi beton	Grafik 16	2217	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1639,273	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	(17) x (20)	737,673	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	901,600	kg/m ³

Banyaknya Bahan	Semen (kg)	Air(kg/Lt)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	372,73	205	737,673	901,600
Tiap campuran uji 0,032 m3	2,37	1,30	4,69	5,74
Proporsi (teoritis)	1	0,55	1,98	2,42

Tabel 4.4 Mix Design f'_c 30 Mpa

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	30 Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64)	12 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	42 Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2 atau Grafik 1/2	0,39
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	40 mm
11	Kadar Air Bebas	Tabel 6	205 kg/m ³
12	Jumlah semen	(11) : (8) atau (11) : (7)	525,641 kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275 kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 – 6	Zona 1
17	Persen agregat halus	Grafik 13 – 15	41%
18	Berat Jenis Relatif Agregat (SSD)	Diketahui	2,408 kg/m ³
19	Berat isi beton	Grafik 16	2212,5 kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1481,859 kg/m ³
21	Kadar agregat halus	(17) x (20)	607,562 kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	874,297 kg/m ³

Banyaknya Bahan	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
(Teoritis)	(kg)	(kg/lt)	(kg)	(kg)
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (teoritis)	525,64	205	607,562	874,297
Tiap campuran uji 0,032 m ³	3,35	1,30	3,87	5,56
Proporsi (teoritis)	1	0,39	1,16	1,66

Pengujian silinder untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Silinder yang di uji berjumlah 48 buah yang masing – masing di bagi menjadi 24 silinder untuk mutu beton rencana 20 MPa dan 24 silinder untuk mutu beton rencana 30 MPa. Pengujian kuat tekan silinder mutu beton rencana 20 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 25,092 MPa, sedangkan untuk mutu beton rencana 30 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 29,733 MPa. Hasil pengujian untuk mutu beton rencana 20 MPa ditampilkan pada Tabel 4.5 dan untuk mutu beton rencana 30 MPa ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder mutu beton rencana 20 MPa

Benda Uji		Luas	Berat (kg)	P max (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan
		Penampakan g (mm ²)				Rata-rata (N/mm ²)
a1b2c1d1	1	17671,46	12,1	588000	33,274	25,092
	1	17671,46	12,1	277000	15,675	
	2	17671,46	12,05	561000	31,746	
	2	17671,46	11,8	403000	22,805	
	3	17671,46	12,15	511000	28,917	
	3	17671,46	12,15	453000	25,635	
a1b1c1d2	1	17671,46	12,08	489000	27,672	
	1	17671,46	12,1	441000	24,955	
	2	17671,46	11,9	405000	22,918	
	2	17671,46	12,4	319000	18,052	
	3	17671,46	12,08	431000	24,390	
	3	17671,46	11,9	437000	24,729	
a1b1c2d1	1	17671,46	11,75	195000	11,035	
	1	17671,46	12,2	446000	25,238	
	2	17671,46	12,25	603000	34,123	
	2	17671,46	12,45	339000	19,183	
	3	17671,46	12,15	484000	27,389	
	3	17671,46	12,1	554000	31,350	
a1b2c2d2	1	17671,46	12,22	411000	23,258	
	1	17671,46	12,06	500000	28,294	
	2	17671,46	12,18	469000	26,540	
	2	17671,46	12,06	395000	22,352	
	3	17671,46	12,08	554000	31,350	
	3	17671,46	11,9	377000	21,334	

Tabel 4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder mutu beton rencana 30 MPa

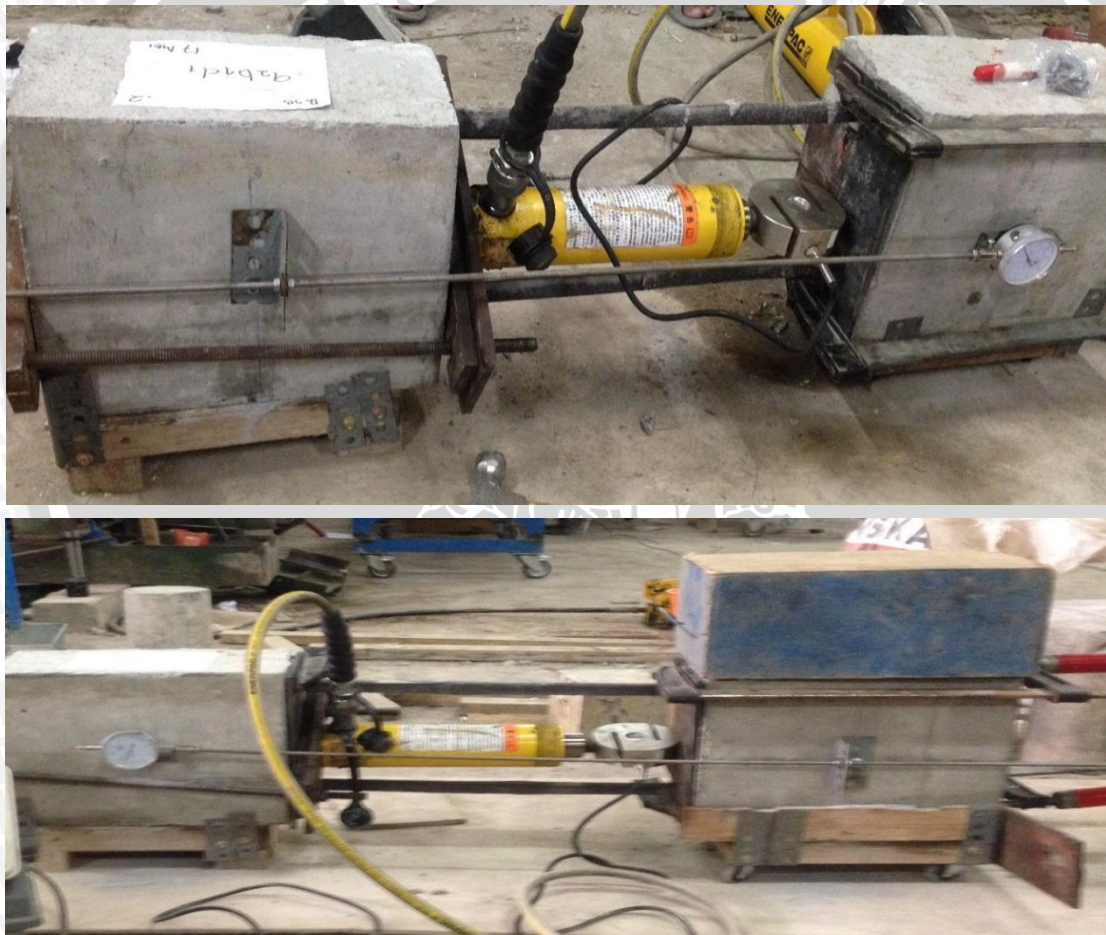
Benda Uji		Luas	Berat (kg)	P max (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan
		Penampang (mm ²)				Rata-rata (N/mm ²)
a2b1c1d1	1	17671,46	11,8	580000	32,821	29,733
	1	17671,46	11,9	279000	15,788	
	2	17671,46	11,84	602000	34,066	
	2	17671,46	12,08	506000	28,634	
	3	17671,46	11,8	457000	25,861	
	3	17671,46	11,86	430000	24,333	
a2b2c1d2	1	17671,46	12,02	325000	18,391	
	1	17671,46	12,02	465000	26,314	
	2	17671,46	11,88	554000	31,350	
	2	17671,46	12,1	466000	26,370	
	3	17671,46	11,94	394000	22,296	
	3	17671,46	12,26	602000	34,066	
a2b2c2d1	1	17671,46	12,02	612000	34,632	
	1	17671,46	11,92	405000	22,918	
	2	17671,46	12,02	764000	43,234	
	2	17671,46	11,94	771000	43,630	
	3	17671,46	12,14	533000	30,162	
	3	17671,46	12,2	339000	19,183	
a2b1c2d2	1	17671,46	11,98	561000	31,746	
	1	17671,46	12,1	577000	32,652	
	2	17671,46	12,04	552000	31,237	
	2	17671,46	12,16	606000	34,293	
	3	17671,46	12,04	562000	31,803	
	3	17671,46	12,14	668000	37,801	

4.4 Pengujian Pull Out

Pengujian *pull out* dilakukan untuk mencari beban maksimum yang akan digunakan untuk perhitungan tegangan lekatan antara tulangan bambu dengan beton. Pengujian *pull out* juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari beberapa variasi yang dilakukan pada penelitian ini. Variasi yang dilakukan ialah penambahan kait yang berupa kait yang terbuat dari bambu petung dan kayu kamper, selain itu variasi yang lain ialah variasi pada mutu beton yang digunakan yaitu 20 MPa dan 30 MPa, jarak kait juga menjadi variasi pada penelitian ini yaitu jarak kait 6 cm dan 12 cm. Pengujian *pull out* yang dilakukan menggunakan balok beton yang berukuran 30cm x 15cm x 25cm dan diberi beban menggunakan piston dan load cell. Contoh benda uji *pull out* yang akan diuji ditampilkan pada Gambar 4.1. Jumlah benda uji *pull out* sebanyak 16 buah dengan rincian yang ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Rincian Benda Uji *Pull Out*

No	Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	a ₁ b ₁ d ₁	2
2	a ₁ b ₁ d ₂	2
3	a ₁ b ₂ d ₁	2
4	a ₁ b ₂ d ₂	2
5	a ₂ b ₁ d ₁	2
6	a ₂ b ₁ d ₂	2
7	a ₂ b ₂ d ₁	2
8	a ₂ b ₂ d ₂	2

Gambar 4.1 Pengujian Benda Uji *Pull Out*

Pengujian *pull out* dari beberapa variasi menghasilkan beban maksimum dan tegangan lekatan, hasil dari beban maksimum ditampilkan pada Tabel 4.8, dari beban maksimum yang didapatkan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan tegangan lekatan tulangan bambu. Hasil dari tegangan lekatan tulangan bambu ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Beban Maksimum Pengujian *Pull Out*

		a1		a2	
		b1	b2	b1	b2
d	d1	2700	2150	2650	2350
		2050	3050	2750	2750
	d2	3050	3550	3350	1900
		3650	1850	3850	2250

Pada keruntuhan terlepasnya tulangan dari beton dapat didapatkan nilai tegangan lekat tulangan dengan balok sebagai berikut:

Pada variabel benda uji *pull-out* dengan mutu beton 20 MPa, jarak kait 6 cm, dan dengan kait bambu ($a_1b_1d_1$) dapat dihitung tegangan lekatnya sebagai berikut :

$$P_n = 1187,5 \text{ kg}$$

$$d = (2+1) \times 2 = 6 \text{ cm}$$

$$l_d = 60 \text{ cm}$$

Maka,

$$P_n = \mu \cdot d \cdot l_d$$

$$1187,5 = \mu \cdot 6 \cdot 60$$

$$\mu = \frac{1187,5}{6 \times 60}$$

$$\mu = 3,299 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,33 \text{ MPa}$$

Pada perhitungan diatas digunakan nilai keliling dikali panjang dikarenakan tegangan lekat berhubungan dengan friksi pada selimut bambu. Dengan perhitungan yang sama dapat dicari nilai tegangan lekat dari benda uji *pull-out* yang lain. Hasil perhitungan tegangan lekat untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Tegangan Lekatan Tulangan Bambu

No	Kode Benda Uji Pull-Out	Gaya Cabut Per Batang (Kg)	Rata-Rata Gaya Cabut (Kg)	Tegangan Lekat (Kg/cm ²)	Tegangan Lekat (Mpa)
1	A1B1D1-1	1350	1187,5	3,299	0,330
	A1B1D1-2	1025			
2	A1B2D1-1	1075	1300	3,611	0,361
	A1B2D1-2	1525			
3	A1B1D2-1	1525	1675	4,653	0,465
	A1B1D2-2	1825			
4	A1B2D2-1	1775	1350	3,750	0,375
	A1B2D2-2	925			
1	A2B1D1-1	1325	1350	3,750	0,375
	A2B1D1-2	1375			
2	A2B2D1-1	1175	1275	3,542	0,354
	A2B2D1-2	1375			
3	A2B1D2-1	1675	1800	5,000	0,500
	A2B1D2-2	1925			
4	A2B2D2-1	950	1037,5	2,882	0,288
	A2B2D2-2	1125			

Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.9 terlihat bahwa terjadi peningkatan tegangan lekatan tulangan bambu akibat variasi mutu beton, jarak kait dan juga jenis kait.

4.5 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu

Pengujian lentur balok beton digunakan untuk mengetahui interaksi antara jarak kait dan jenis kait pada balok beton bertulangan bambu terhadap kuat lentur balok beton. Pada pengujian ini balok beton dipasang pada tumpuan sederhana (2 tumpuan) sendi dan rol. Pada masing-masing pengujian dibuat benda uji balok dengan ukuran 18x28x160 cm sebanyak 24 buah dengan masing-masing rincian yang telah dijelaskan pada Bab III.

4.5.1 Hasil Pengujian Lentur Balok Beton

Pengujian balok beton sebagai balok dengan tumpuan sederhana yaitu sendi dan rol, kemudian diberi beban pada bentang 60 cm dan 100 cm (dari kiri) seperti pada skema pembebanan. Lendutan balok diperoleh dari pembacaan LVDT yang dipasang tepat di tengah bentang balok di bagian depan dan belakang. Pengujian ini menghasilkan nilai beban dan nilai lendutan yang terjadi pada balok tiap beban dinaikkan. Nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok dengan berbagai variasi ditunjukkan pada Tabel 4.10 sampai Tabal 4.17

Tabel 4.10

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a1b2c1d1	1	6700
a1b2c1d1	2	5400
a1b2c1d1	3	5000
Beban Maksimum Rata-rata		5700

Tabel 4.11

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a2b1c1d1	1	4800
a2b1c1d1	2	4750
a2b1c1d1	3	5000
Beban Maksimum Rata-rata		4850

Tabel 4.12

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a1b1c1d2	1	5800
a1b1c1d2	2	6900
a1b1c1d2	3	5950
Beban Maksimum Rata-rata		6216,67

Tabel 4.13

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a2b2c1d2	1	6200
a2b2c1d2	2	5500
a2b2c1d2	3	4200
Beban Maksimum Rata-rata		5300

Tabel 4.14

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a1b1c2d1	1	7050
a1b1c2d1	2	8750
a1b1c2d1	3	8500
Beban Maksimum Rata-rata		8100

Tabel 4.15

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a2b2c2d1	1	6650
a2b2c2d1	2	7500
a2b2c2d1	3	7750
Beban Maksimum Rata-rata		7300

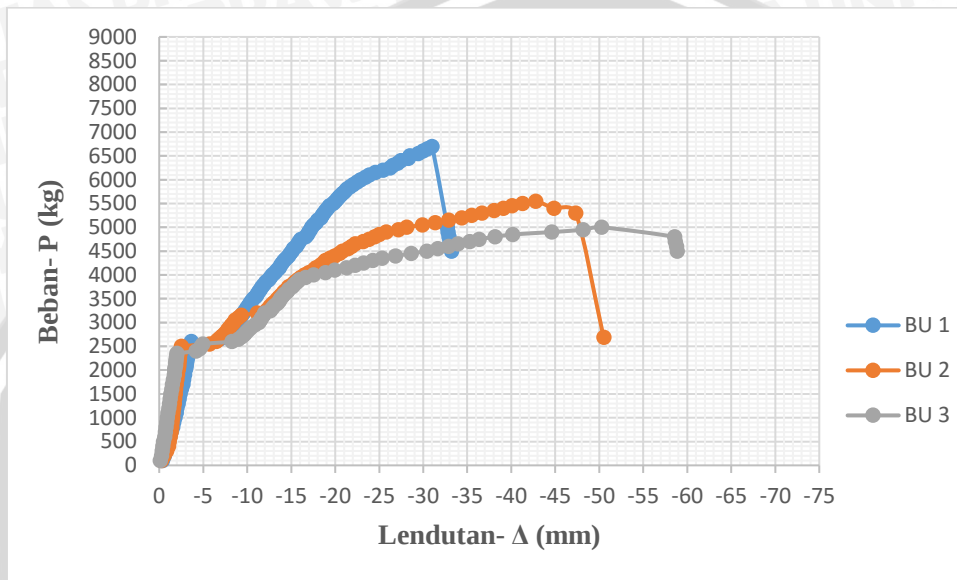
Tabel 4.16

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a1b2c2d2	1	7500
a1b2c2d2	2	8000
a1b2c2d2	3	8500
Beban Maksimum Rata-rata		8000

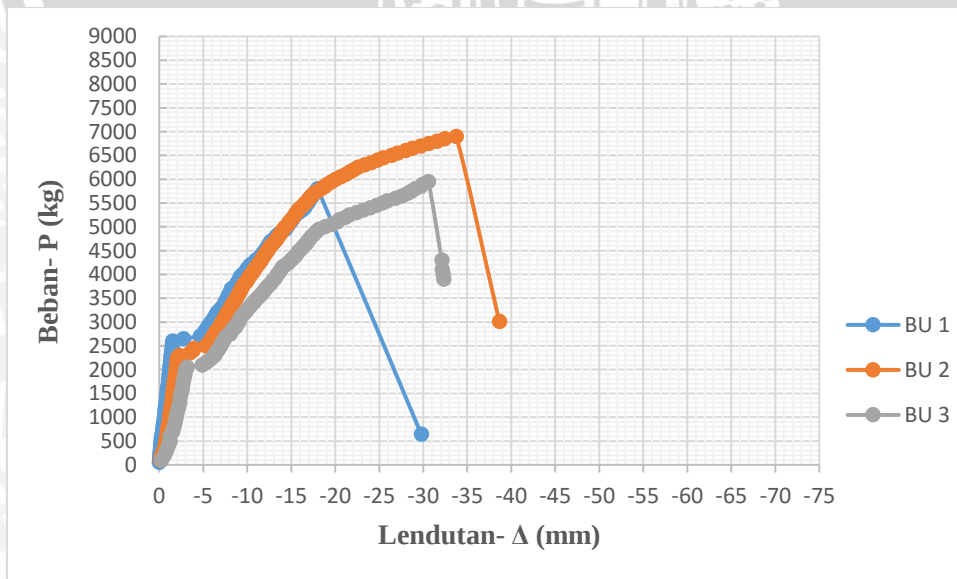
Tabel 4.17

Benda Uji Balok	Ulangan Ke-	Beban Maksimum (kg)
a2b1c2d2	1	7550
a2b1c2d2	2	8050
a2b1c2d2	3	6200
Beban Maksimum Rata-rata		7266,67

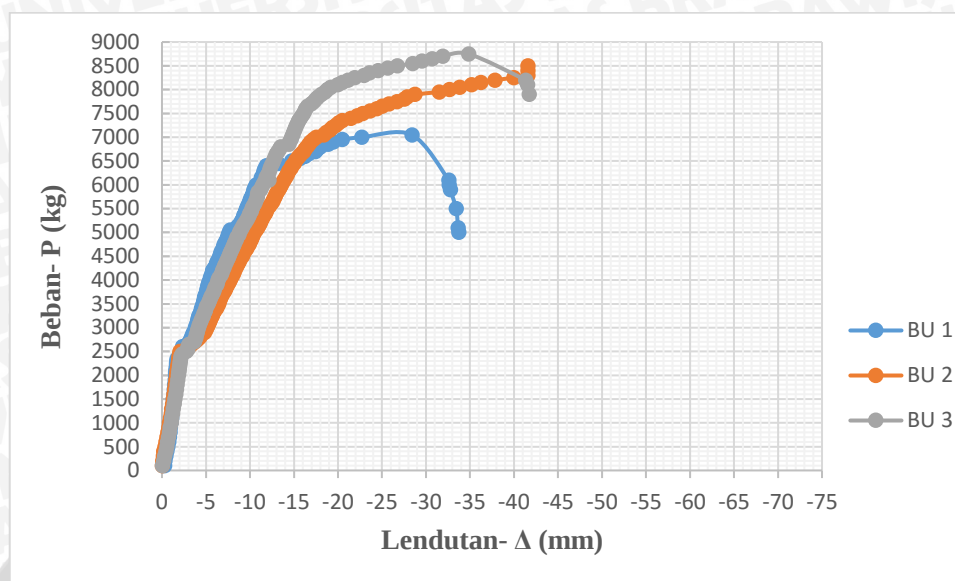
Grafik hubungan antara beban dengan lendutan yang terjadi pada balok di tengah bentang saat pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.2 sampai Gambar 4.9



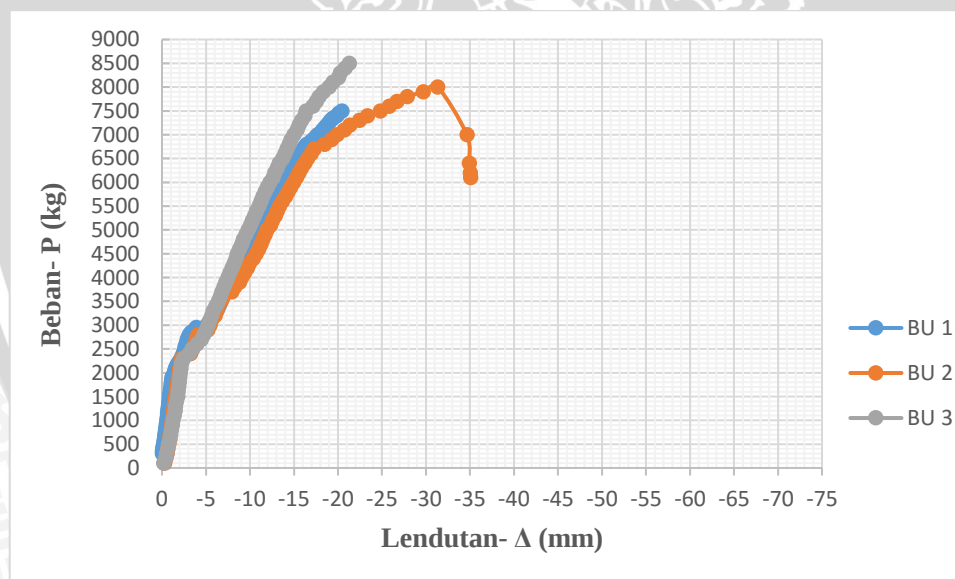
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji a₁b₂c₁d₁



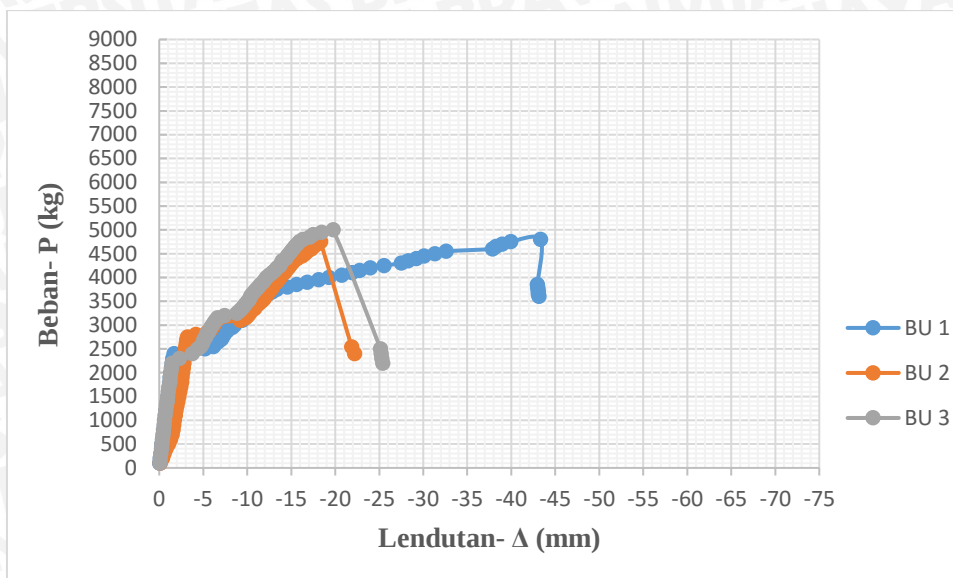
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji a₁b₁c₁d₂



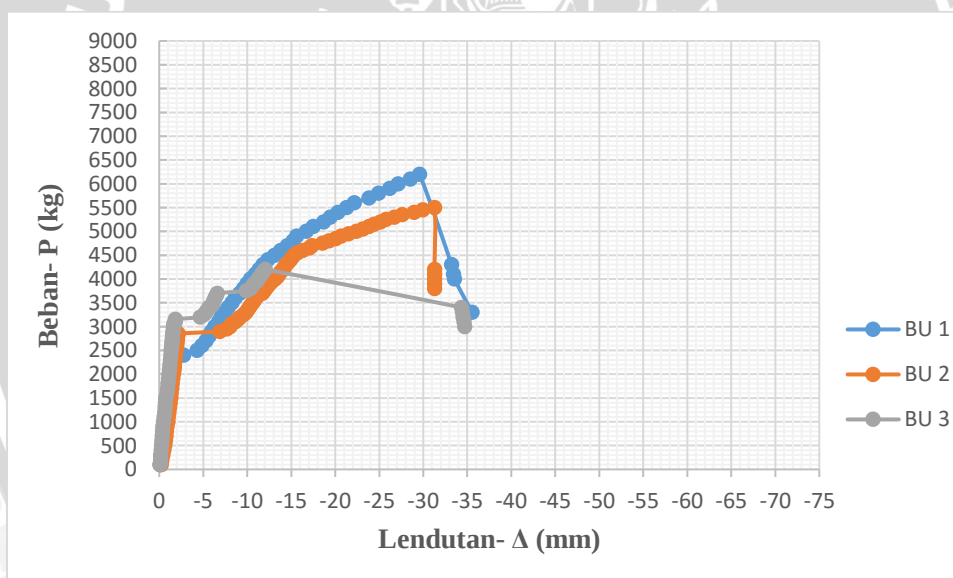
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji a₁b₁c₂d₁



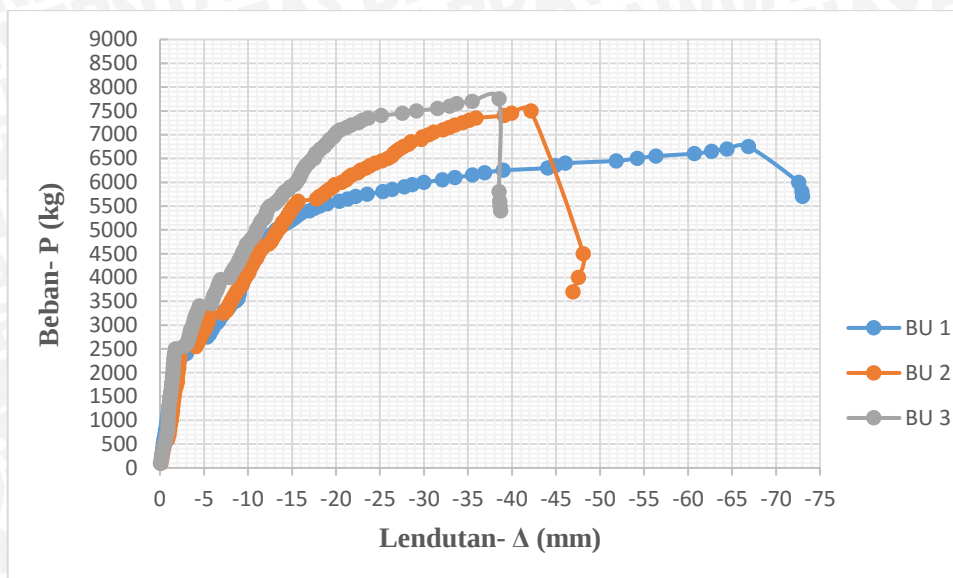
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji a₁b₂c₂d₂



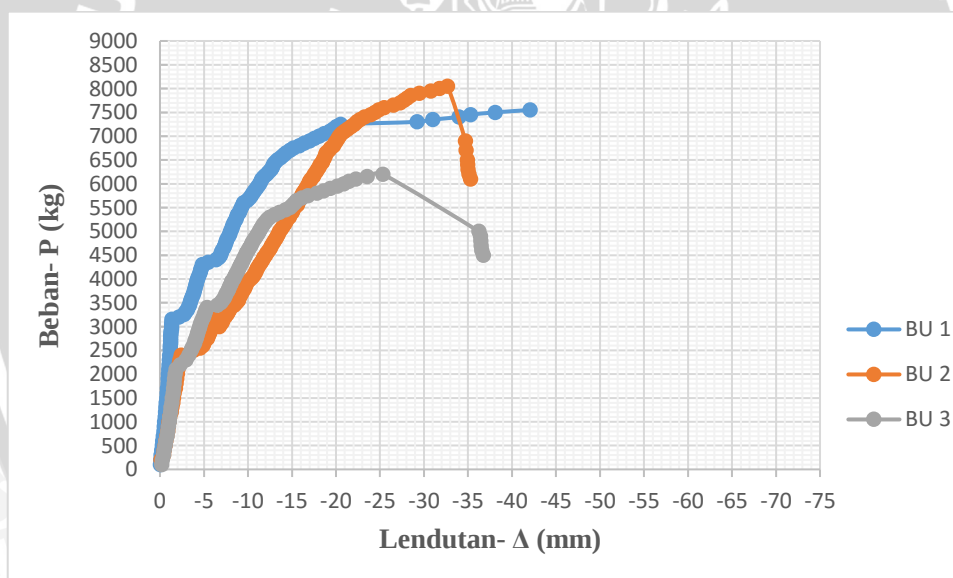
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji a2b1c1d1



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji a2b2c1d2



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_2b_2c_2d_1$



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji $a_2b_1c_2d_2$

Berdasarkan Gambar 4.2 sampai Gambar 4.9 dapat diketahui besarnya rata-rata beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada balok dengan berbagai variasi penambahan kait. Nilai rata-rata beban maksimum dan lendutan ditunjukkan pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Nilai Pmax dan Δ max pada Balok Beton Sederhana

Benda Uji		P maks (kg)	Δ max di Tengah Bentang (mm)
a1b2c1d1	1	6700	-30.99
	2	5550	-42.775
	3	5000	-50.265
a1b1c1d2	1	5800	-18.005
	2	6900	-33.74
	3	5950	-30.575
a1b1c2d1	1	7050	-28.395
	2	8500	-41.575
	3	8750	-34.84
a1b2c2d2	1	7500	-20.44
	2	8000	-31.33
	3	8500	-21.27
a2b1c1d1	1	4800	-43.32
	2	4750	-18.31
	3	5000	-19.735
a2b2c1d2	1	6200	-29.55
	2	5500	-31.27
	3	4200	-12.02
a2b2c2d1	1	6750	-66.85
	2	7500	-42.14
	3	7750	-38.5
a2b1c2d2	1	7550	-42.04
	2	8050	-32.66
	3	6200	-25.31

Berdasarkan Tabel 4.18 terlihat bahwa perbedaan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton akibat berbagai variasi pada penelitian yang dilakukan. Benda uji a1b1c2d1 memiliki nilai beban maksimum yang paling besar diantara benda uji yang lain dengan berbagai variasi.

4.6 Analisis Balok Beton Bertulangan Bambu

4.6.1 Teoritis

Analisis mengenai lentur yang terjadi pada balok beton bertulangan bambu yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan dasar dari penelitian yang dilakukan oleh Ghavami (2005). Gaya tekan yang ada pada beton (C) harus seimbang dengan gaya tarik yang ada pada tulangan bambu (T), sehingga keseimbangan gaya yang ada dapat terpenuhi. Gaya tarik pada tulangan bambu (T) didapatkan melalui perkalian antara tegangan lekatan (*pull out*) dengan luas geser tulangan. Tegangan lekatan digunakan karena berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, keruntuhan balok beton bertulangan bambu diakibatkan oleh

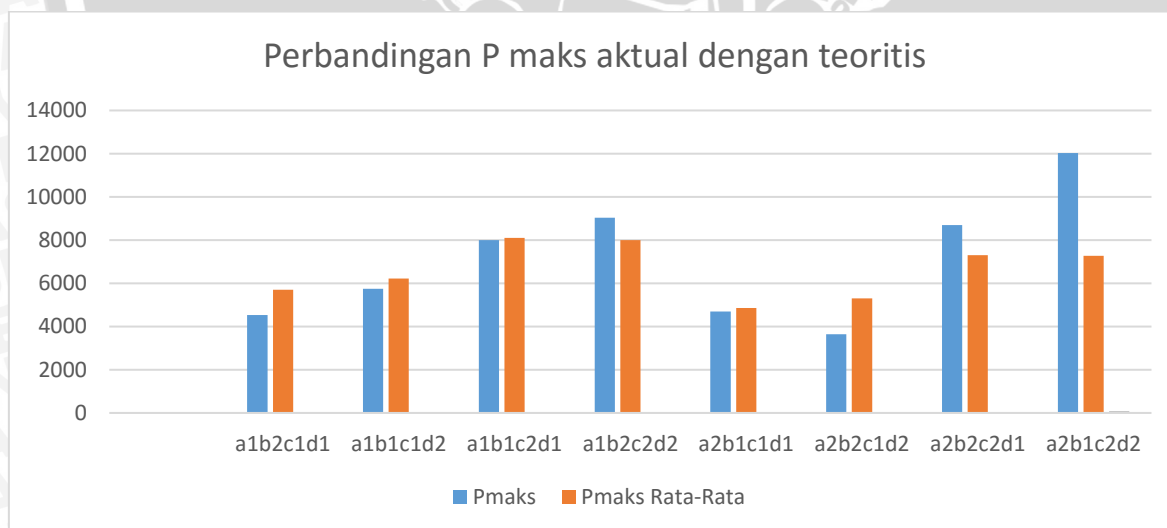
tegangan lekatan antara tulangan bambu dan balok beton yang hilang. Beban maksimum dengan berbagai variasi yang dapat dipikul oleh balok beton berdasarkan perhitungan secara teoritis ditampilkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Nilai Pmax Balok Beton Bertulangan Bambu secara Teoritis

Kode Benda Uji	Pmaks	Pmaks Rata- Rata	KR %
	Teoritis (kg)	Aktual (kg)	
a1b2c1d1	4527,96	5700,00	20,56
a1b1c1d2	5748,80	6216,67	7,53
a1b1c2d1	8003,98	8100,00	1,19
a1b2c2d2	9035,84	8000,00	12,95
a2b1c1d1	4699,49	4850,00	3,10
a2b2c1d2	3639,11	5300,00	31,34
a2b2c2d1	8699,23	7300,00	19,17
a2b1c2d2	12026,38	7266,67	65,50

4.6.2 Perbandingan Teoritis dengan Hasil Eksperimen

Hasil analisis beban maksimum secara Teoritis didapatkan, maka dapat digunakan dalam membandingkan hasil beban maksimum secara teoritis dengan beban maksimum secara eksperimen. Perbandingan antara hasil beban maksimum teoritis dengan beban maksimum eksperimen ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram Perbandingan Beban Maksimum Balok Beton Bertulangan Bambu

Berdasarkan Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa hasil dari beban maksimum secara teoritis melebihi dari hasil nilai beban maksimum secara eksperimen. Perbedaan yang terjadi antara hasil beban maksimum teoritis dan eksperimen dapat diakibatkan oleh kesalahan yang terjadi pada saat penelitian

4.6.3 Lendutan Teoritis dan Aktual

Analisis lendutan secara teoritis dapat dihitung berdasarkan beban saat kondisi elastis yaitu sebesar 2000 kg. Nilai ini diambil dari grafik hubungan beban dengan lendutan, dimana besarnya beban berbanding lurus dengan lendutan yang terjadi. Dari hasil perhitungan secara teoritis dibandingkan dengan hasil percobaan yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Nilai Lendutan Aktual dan Teoritis

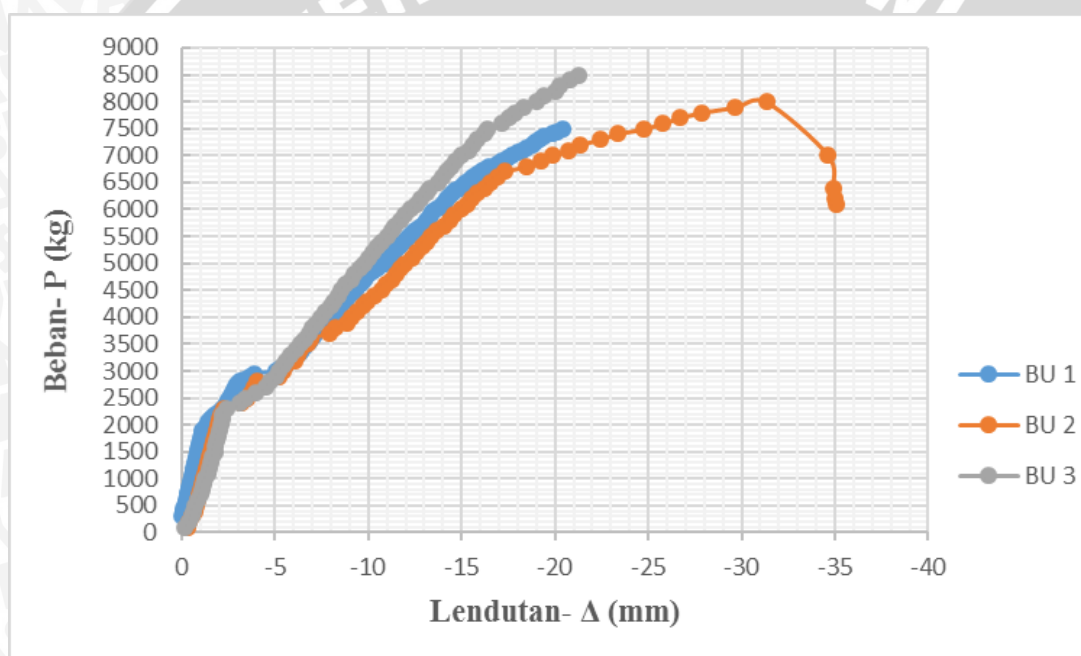
Benda Uji	Ulangan	f'c	Lendutan (mm)				KR (%)
			Aktual	Rata-rata	Teoritis	Rata-rata	
				aktual		Teoritis	
a1b2c1d1	1	24,47	2,95	2,28	0,20	0,20	91,37
	2	27,28	2,15		0,19		
	3	27,28	1,74		0,19		
a1b1c1d2	1	26,31	1,18	2,03	0,20	0,21	89,76
	2	20,49	1,89		0,22		
	3	24,56	3,01		0,20		
a1b1c2d1	1	18,14	1,54	1,67	0,24	0,21	87,69
	2	26,65	1,63		0,20		
	3	29,37	1,86		0,19		
a1b2c2d2	1	25,78	1,37	1,79	0,20	0,20	88,85
	2	24,45	1,93		0,20		
	3	26,34	2,08		0,20		
a2b1c1d1	1	24,3	1,32	1,76	0,20	0,20	88,92
	2	31,35	2,67		0,18		
	3	25,1	1,31		0,20		
a2b2c1d2	1	22,35	1,42	1,37	0,21	0,20	85,59
	2	28,86	1,60		0,19		
	3	28,18	1,09		0,19		
a2b2c2d1	1	28,78	1,49	1,67	0,19	0,18	89,12
	2	43,43	2,04		0,15		
	3	24,67	1,48		0,20		
a2b1c2d2	1	32,2	0,95	1,54	0,18	0,17	88,66
	2	32,76	1,96		0,18		
	3	34,8	1,72		0,17		

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa perbandingan antara lendutan teoritis dan lendutan aktual cukup jauh dengan KR yang cukup besar lebih dari 50%. Hal ini bisa disebabkan karena pengaruh modulus elastisitas beton yang tidak tetap karena penambahan beban, sehingga hasil perhitungan lendutan teoritis berbeda dengan lendutan aktual saat percobaan.

4.6.4 Analisis Grafik Hubungan P – Δ

Grafik antara P – Δ hasil dari pengujian kuat lentur balok seperti yang telah dipaparkan di atas menunjukkan hubungan antara setiap penambahan beban dengan interval per 50 kg dengan lendutan yang terbaca dari LVDT masing – masing benda uji yang dikelompokkan berdasarkan ulangannya. Grafik tersebut menunjukkan bahwa balok beton yang diuji mengalami fase elastis, fase plastis hingga mencapai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok.

Pada beberapa grafik di atas menunjukkan bahwa balok belum mencapai kondisi beban maksimum yang dapat ditahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 sebagai berikut

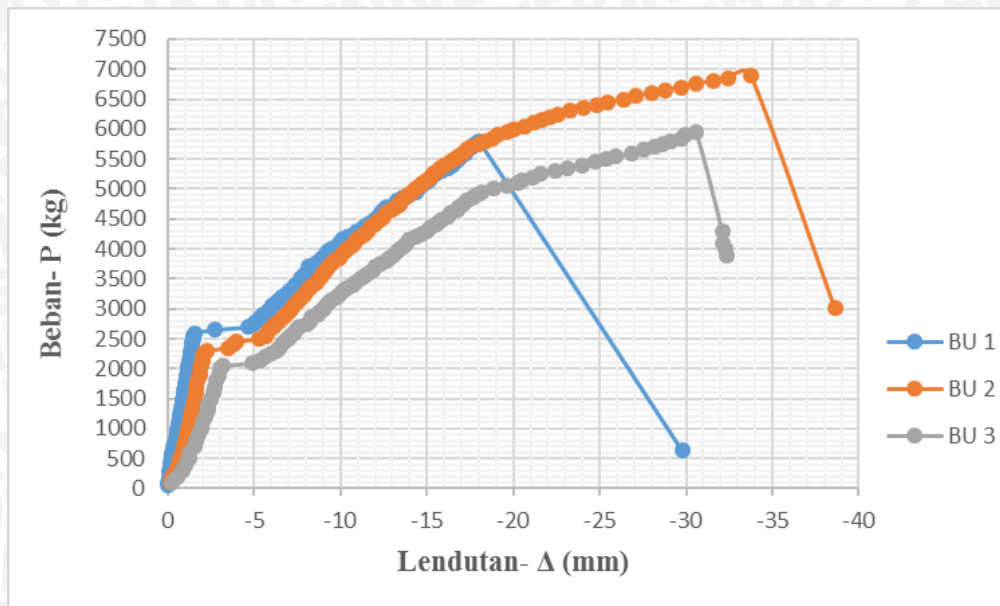


Gambar 4.11 Grafik P – Δ yang tidak mendapatkan hasil beban maksimum

Gambar di atas menunjukkan bahwa grafik P – Δ pada benda uji ulangan ke-1 dan ke-3 tidak mendapatkan beban maksimum, hal ini disebabkan karena kapasitas frame alat penguji yang tidak memenuhi, pada ulangan yang ke-1 beban hanya sampai pada nilai 7500 kg, pada ulangan yang ke-3 beban mampu mencapai nilai 8500 kg karena frame alat penguji sudah dipasang pengaku untuk memperkuat dan menambah kapasitas pada frame tersebut, namun masih belum mendapat beban maksimum.

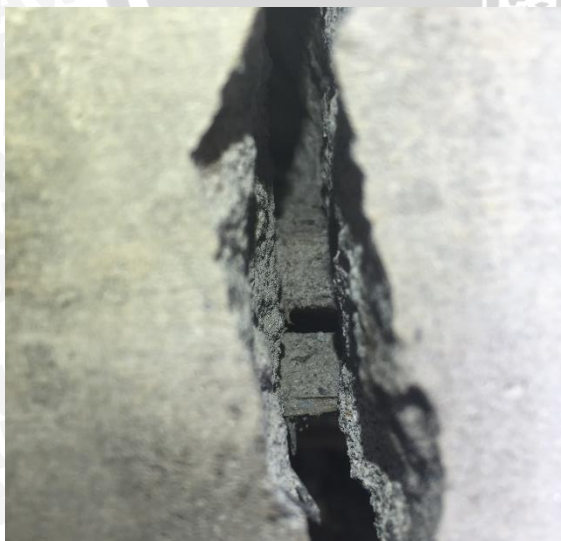
Beberapa dari grafik di atas menunjukkan bahwa setelah mencapai beban maksimum, lendutan yang terjadi langsung bertambah secara drastis kemudian beban

berhenti tidak dapat dinaikkan maupun turun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Grafik hubungan P – Δ yang terjadi penambahan lendutan secara drastis

Pada grafik tersebut terlihat penurunan yang curam setelah mencapai beban maksimum, hal ini terjadi disebabkan oleh tulangan yang berada di dalam balok mengalami selip sehingga mengakibatkan balok tidak dapat lagi menerima penambahan beban dan lendutan yang terjadi bertambah secara drastis. Tulangan yang mengalami selip ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut



Gambar 4.13 Tulangan bambu yang mengalami selip setelah dilakukan pengujian

4.6.5 Analisis Perbandingan Hasil Pengujian Berdasarkan Faktor Jarak Kait dan Jenis Kait

4.6.5.1 Analisis Perbandingan Beban Maksimum

Untuk mengetahui pengaruh faktor jarak kait dan jenis kait terhadap kuat lentur balok beton pada percobaan ini perlu dilakukan analisis dengan membandingkan hasil dari beban maksimum yang didapat dari penelitian. Dengan mencari nilai presentase perbedaan terhadap mutu tinggi dengan mutu rendah dari nilai yang didapat, sehingga dapat dilihat pengaruhnya.

Untuk mengetahui nilai yang dicari diperlukan pengurangan untuk menghilangkan faktor yang tidak diinginkan yaitu faktor a dan faktor c, dengan cara menjumlahkan dan mengurangi dengan faktor yang ada sehingga hanya terdapat faktor b dan faktor d. Data yang diperlukan seperti terlihat pada Tabel 4.21

Tabel 4.21 Nilai Beban Maksimum

Variasi sampel	a1b2c1d1 (kg)	a1b1c1d2 (kg)	a1b1c2d1 (kg)	a1b2c2d2 (kg)	a2b1c1d1 (kg)	a2b2c1d2 (kg)	a2b2c2d1 (kg)	a2b1c2d2 (kg)
Beban maks	6700	5800	7050	7500	4800	6200	6650	7550
	5550	6900	8750	8000	4750	5500	7500	8050
	5000	5950	8500	8500	5000	4200	7750	6200
Jumlah	17250	18650	24300	24000	14550	15900	21900	21800
Rata-rata	5750	6216,67	8100	8000	4850	5300	7300	7266,67

Interaksi faktor b dan d :

$$\begin{aligned}
 \text{Taraf tinggi} &= a_1b_1c_1d_2 + a_2b_1c_2d_2 \\
 &= 5800 + 6900 + 5950 + 7550 + 8050 + 6200 \\
 &= 40450
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Taraf rendah} &= a_1b_2c_1d_1 + a_2b_2c_2d_1 \\
 &= 6700 + 5550 + 5000 + 6650 + 7500 + 7750 \\
 &= 39150
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Presentase} &= \frac{\text{taraf tinggi} - \text{taraf rendah}}{\text{taraf tinggi}} \times 100\% \\
 &= \frac{40450 - 39150}{40450} \times 100\% \\
 &= 3,21\%
 \end{aligned}$$

Jadi interaksi antara jarak kait dengan jenis kait sangatlah kecil tidak signifikan.

4.6.5.2 Analisis Perbandingan Lendutan Pada Keadaan Elastis

Untuk mengetahui pengaruh faktor jarak kait dan jenis kait terhadap lendutan pada keadaan elastis balok beton pada percobaan ini perlu dilakukan analisis dengan membandingkan hasil dari beban maksimum yang didapat dari penelitian. Dengan mencari nilai presentase perbedaan terhadap mutu tinggi dengan mutu rendah dari nilai yang didapat, sehingga dapat dilihat pengaruhnya.

Nilai lendutan yang dicari diperlukan pengurangan untuk menghilangkan faktor yang tidak diinginkan yaitu faktor a dan faktor c, dengan cara menjumlahkan dan mengurangi dengan faktor yang ada sehingga hanya terdapat faktor b dan faktor d. Data yang diperlukan seperti terlihat pada Tabel 4.22

Tabel 4.22 Nilai lendutan aktual dan teoritis

Benda Uji	Ulangan	f'c	Lendutan (mm)	
			Aktual	Rata-rata Aktual
a1b2c1d1	1	24,47	2,95	2,2766667
	2	27,28	2,145	
	3	27,28	1,735	
a1b1c1d2	1	26,31	1,18	2,0266667
	2	20,49	1,89	
	3	24,56	3,01	
a1b1c2d1	1	18,14	1,535	1,6733333
	2	26,65	1,625	
	3	29,37	1,86	
a1b2c2d2	1	25,78	1,365	1,79
	2	24,45	1,925	
	3	26,34	2,08	
a2b1c1d1	1	24,3	1,315	1,7616667
	2	31,35	2,665	
	3	25,1	1,305	
a2b2c1d2	1	22,35	1,415	1,3666667
	2	28,86	1,6	
	3	28,18	1,085	
a2b2c2d1	1	28,78	1,49	1,6666667
	2	43,43	2,035	
	3	24,67	1,475	
a2b1c2d2	1	32,2	0,945	1,5416667
	2	32,76	1,96	
	3	34,8	1,72	

Presentase perbandingan didapatkan dari perhitungan berikut :

Interaksi faktor b dan d :

$$\begin{aligned}\text{Taraf tinggi} &= a_1b_1c_1d_2 + a_2b_1c_2d_2 \\ &= 1,18 + 1,89 + 3,01 + 1,415 + 1,6 + 1,085 \\ &= 10,18\end{aligned}$$

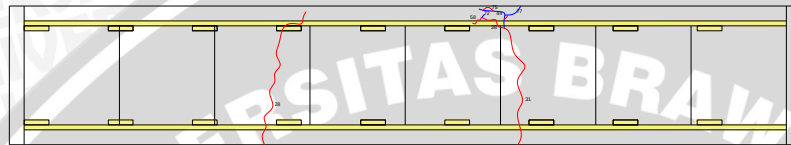
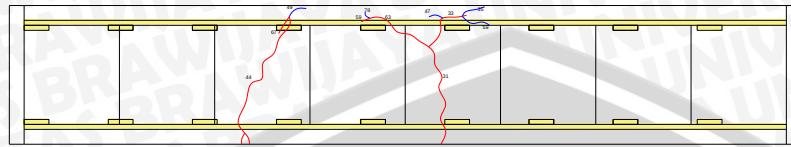
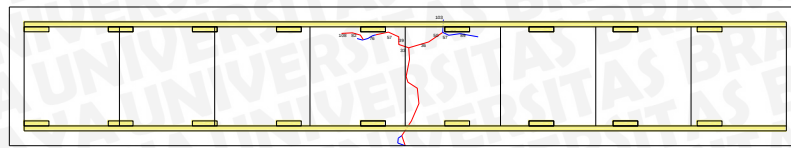
$$\begin{aligned}\text{Taraf rendah} &= a_1b_2c_1d_1 + a_2b_2c_2d_1 \\ &= 2,95 + 2,145 + 1,735 + 1,49 + 2,035 + 1,475 \\ &= 11,83\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Presentase} &= \frac{\text{taraf tinggi} - \text{taraf rendah}}{\text{taraf tinggi}} \times 100\% \\ &= \frac{10,18 - 11,83}{11,83} \times 100\% \\ &= 13,94 \%\end{aligned}$$

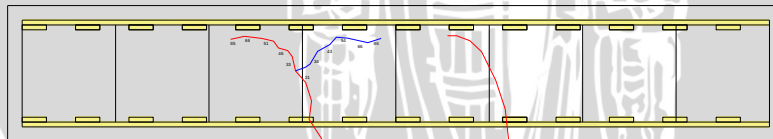
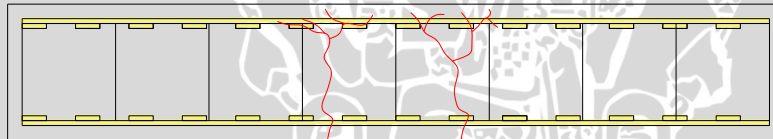
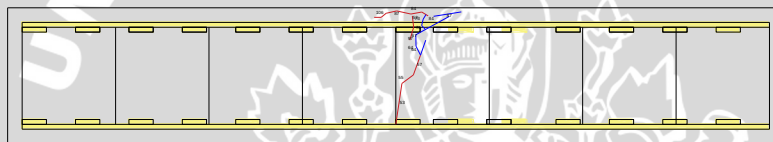
Jadi terdapat interaksi antara jarak kait dengan jenis kait terhadap lendutan yang terjadi meskipun pengaruhnya kecil, hal ini tidak berhubungan dengan beban maksimum karena nilai lendutan yang dibandingkan pada keadaan elastis yaitu sebesar 2000 kg.

4.6.6 Pola Retak

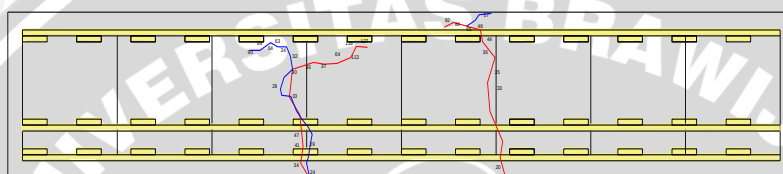
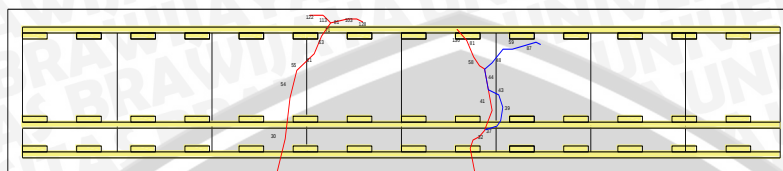
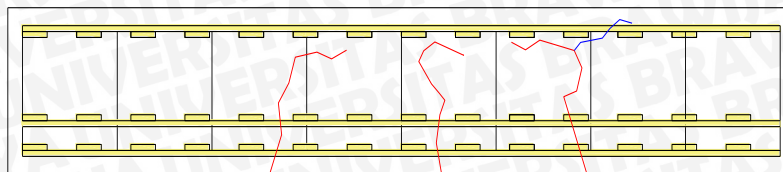
Berdasarkan dari pengujian lentur balok beton bertulangan bambu yang dianggap sebagai balok sederhana dengan 2 tumpuan yang telah dilakukan, dapat diamati bagaimana pola retak yang terjadi pada balok beton bertulangan bambu dengan berbagai macam variasi. Benda uji a1b2c1d1 paling banyak memiliki 2 retakan, retakan pertama yang muncul tepat berada ditengah bentang balok yang merupakan retak lentur, kemudian retak geser muncul yang diakibatkan seiring bertambahnya beban. Sebagian beton yang terlepas diakibatkan oleh lekatan antara tulangan bambu dan beton hilang. Pola keruntuhan balok beton bertulangan bambu dengan berbagai varisai ditampilkan pada Gambar 4.14 sampai Gambar 4.21



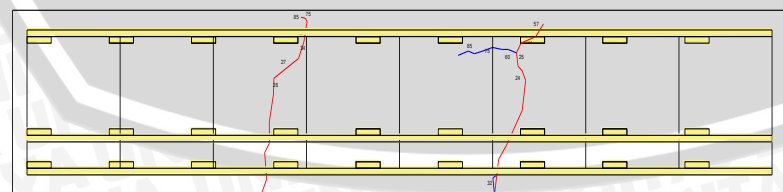
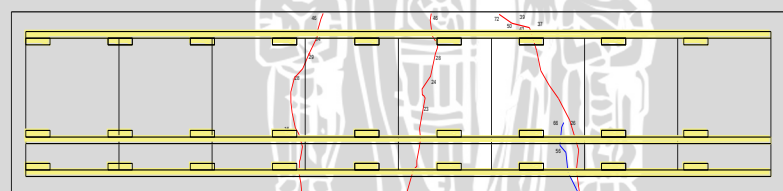
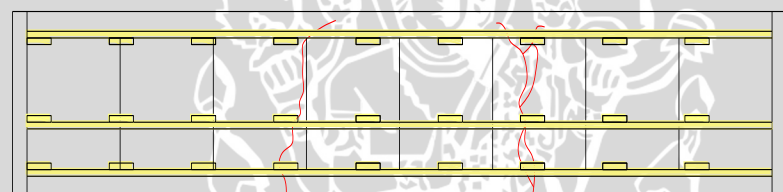
Gambar 4.14 Pola Retak Benda Uji $a_1b_2c_1d_1$



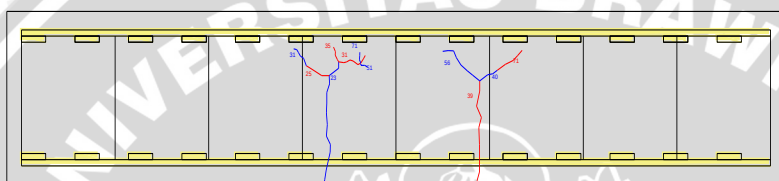
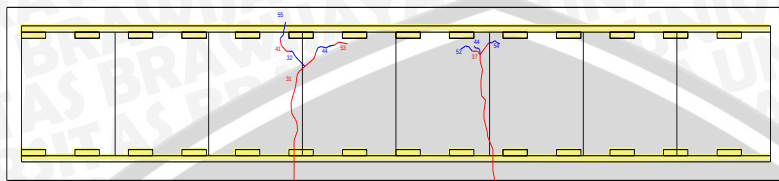
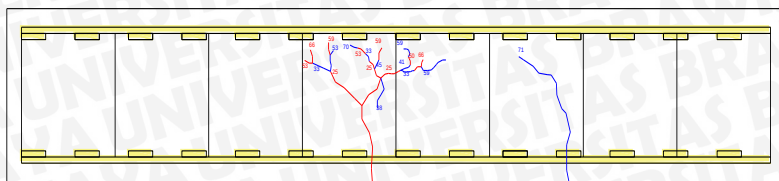
Gambar 4.15 Pola Retak Benda Uji $a_1b_1c_1d_2$



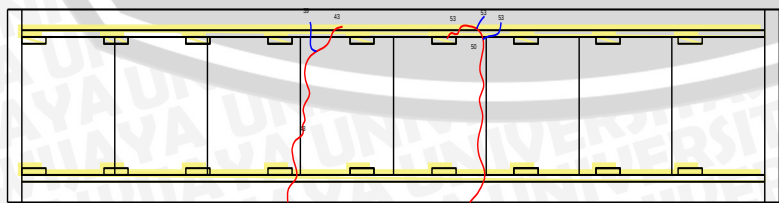
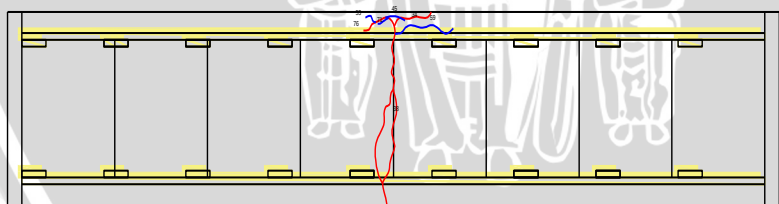
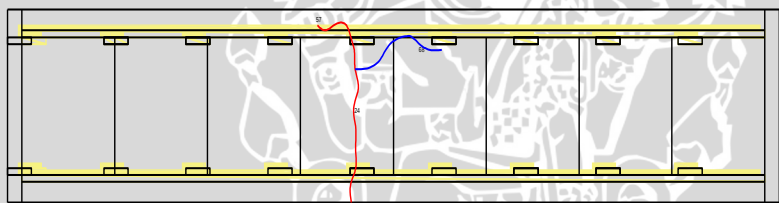
Gambar 4.16 Pola Retak Benda Uji $a_1b_1c_2d_1$



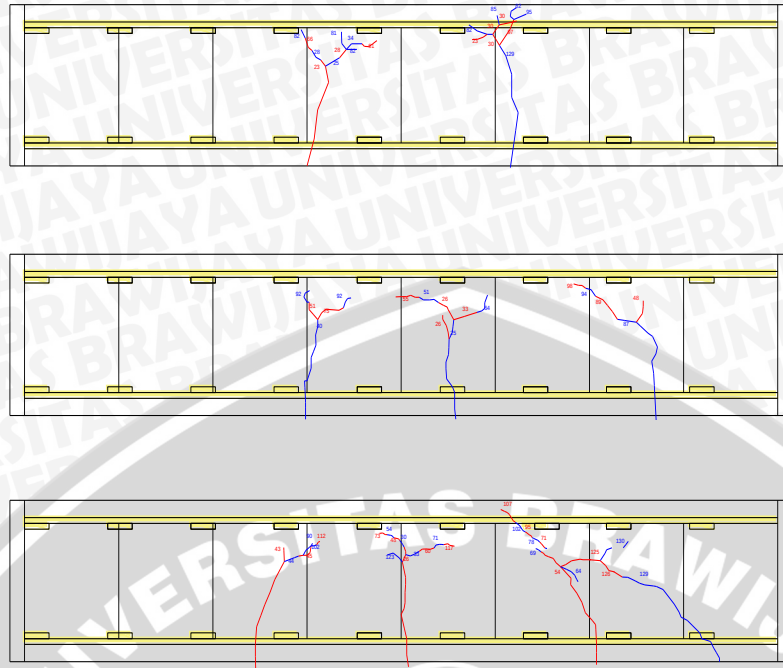
Gambar 4.17 Pola Retak Benda Uji $a_1b_2c_2d_2$



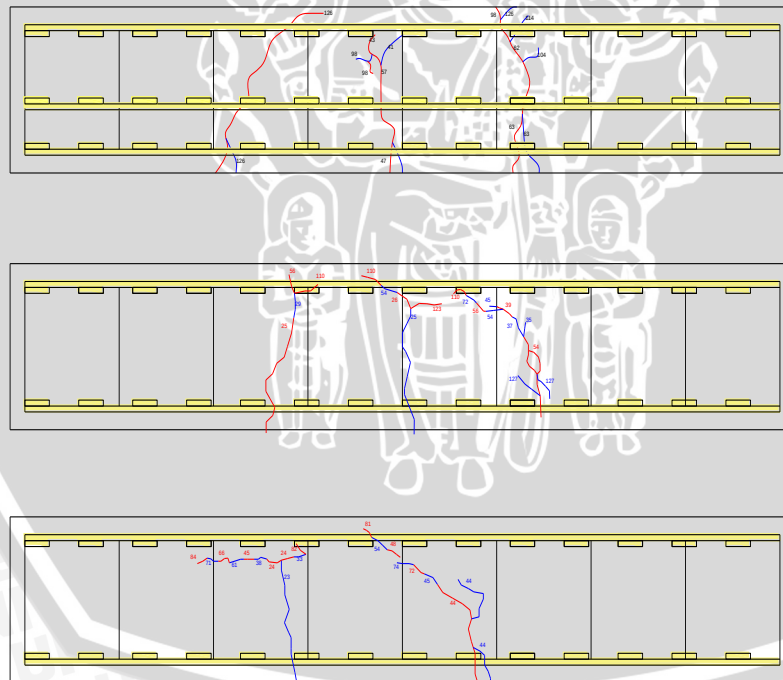
Gambar 4.18 Pola Retak Benda Uji $a_2b_1c_1d_1$



Gambar 4.19 Pola Retak Benda Uji $a_2b_2c_1d_2$



Gambar 4.20 Pola Retak Benda Uji $a_2b_2c_2d_1$



Gambar 4.21 Pola Retak Benda Uji $a_2b_1c_2d_2$

4.7 Uji Hipotesis

Uji hipotesis dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ada atau tidak interaksi antara variabel jarak dan jenis kait (Faktor BD) terhadap variabel terikat pada pengujian kuat lentur balok bertulangan bambu dengan kait. Uji hipotesis yang digunakan menggunakan metode analisis variansi (ANOVA).

4.7.1 Metode ANOVA

Uji hipotesis pada pengujian pull out dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh variasi jarak kait terhadap tegangan lekat antara tulangan bambu berkait dengan beton.

H_0 : tidak terdapat interaksi antara variasi jarak kait dan jenis kait pada tulangan bambu dengan kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu.

H_1 : terdapat interaksi antara variasi jarak kait dan jenis kait pada tulangan bambu dengan kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu.

Level of significance (α) = 0,05

Tabel 4.23 Rancangan Penelitian Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu

		a ₁		a ₂	
		b ₁	b ₂	b ₁	b ₂
c ₁	d ₁	a ₁ b ₁ c ₁ d ₁	a ₁ b ₂ c ₁ d ₁	a ₂ b ₁ c ₁ d ₁	a ₂ b ₂ c ₁ d ₁
	d ₂	a ₁ b ₁ c ₁ d ₂	a ₁ b ₂ c ₁ d ₂	a ₂ b ₁ c ₁ d ₂	a ₂ b ₂ c ₁ d ₂
c ₂	d ₁	a ₁ b ₁ c ₂ d ₁	a ₁ b ₂ c ₂ d ₁	a ₂ b ₁ c ₂ d ₁	a ₂ b ₂ c ₂ d ₁
	d ₂	a ₁ b ₁ c ₂ d ₂	a ₁ b ₂ c ₂ d ₂	a ₂ b ₁ c ₂ d ₂	a ₂ b ₂ c ₂ d ₂

Tabel 4.24 Rancangan Pembagian Blok Positif Negatif Penelitian Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Kait

		a ₁		a ₂	
		b ₁	b ₂	b ₁	b ₂
c ₁	d ₁	+	-	-	+
	d ₂	-	+	+	-
c ₂	d ₁	-	+	+	-
	d ₂	+	-	-	+

Tabel 4.25 Hasil Penelitian Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Kait

		a ₁		a ₂	
		b ₁	b ₂	b ₁	b ₂
c ₁	d ₁		6700	4800	
			5550	4750	
			5000	5000	
	d ₂	5800			6200
		6900			5500
		5950			4200
c ₂	d ₁	7050			6650
		8750			7500
		8500			7750
	d ₂	7500	7550		
		8000	8050		
		8500	6200		

$$\begin{aligned}
 \text{Kontras BD} &= (a_1, b_1, c_2, d_1 + a_2, b_1, c_1, d_1 + a_1, b_2, c_2, d_2 + a_2, b_2, c_1, d_2) - (a_1, b_1, c_1, d_2 + a_2, b_1, c_2, d_2 + \\
 &\quad a_1, b_2, c_1, d_1 + a_2, b_2, c_2, d_1) \\
 &= (2150 + 3050 + 3550 + 1850 + 2350 + 2750 + 1350 + 1900) - (2700 + 2050 \\
 &\quad + 2700 + 3650 + 2650 + 2750 + 1350 + 1900) \\
 &= -850
 \end{aligned}$$

Pengaruh Efek

$$\begin{aligned}
 \text{Pengaruh Efek BD} &= \frac{\text{Kontras(BD)}}{4n} \\
 &= \frac{-850}{4(3)} = -70.833
 \end{aligned}$$

Derajat Bebas

$$\text{DB Perlakuan} = \text{DB (BD)}$$

$$= (b - 1) (d - 1)$$

$$= 1$$

$$\text{DB Total} = nabcd - 1$$

$$= (3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2) - 1 = 23$$

$$\text{DB Galat} = \text{DB total} - \text{DB perlakuan}$$

$$= 23 - 3 = 20$$

Jumlah Kuadrat (JK)

$$\text{JK (B)} = \frac{\text{Kontras(B)}^2}{2^{k-1}n}$$

$$= \frac{[-250]^2}{2^3 3} = 2604,167$$

$$\begin{aligned} \text{JK (D)} &= \frac{\text{Kontras}(D)^2}{2^{k-1}n} \\ &= \frac{[2350]^2}{2^3 3} = 230104,167 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK (BD)} &= \frac{[\text{Kontras}_{(BD)}]^2}{2^{4-1}n} \\ &= \frac{[-850]^2}{2^3 3} = 30104,167 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan} &= \text{JK (B)} + \text{JK (D)} + \text{JK (BD)} \\ &= 2604,167 + 230104,167 + 30104,167 \\ &= 262812,500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total} &= \sum \sum \sum y_{ijk} - \frac{y^2}{n2^4} \\ &= 121303225 - \frac{850^2}{3(2^4)} = 41292395,833 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Galat} &= \text{JK Total} - \text{JK Perlakuan} \\ &= 41292395,833 - 262812,500 \\ &= 41029583,333 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah (KT)

$$\begin{aligned} \text{KT (BD)} &= \frac{\text{JK (BD)}}{\text{DB (BD)}} \\ &= \frac{30104,167}{1} = 30104,167 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KT Galat} &= \frac{\text{JK Galat}}{\text{DB Galat}} \\ &= \frac{41029583,333}{22} = 1864981,061 \end{aligned}$$

F Hitung

$$\begin{aligned} \text{F Hitung} &= \frac{\text{KT (BD)}}{\text{KT (G)}} \\ &= \frac{30104,167}{1864981,061} = 0,01614 \end{aligned}$$

Tabel 4.26 Analisis Variansi Pengaruh Utama Faktor BD terhadap Kuat Lentur Balok Tulangan Bambu dengan Kait

Perilaku	JK	DB	KT	f hitung	F tabel 5%	Keterangan
Pengaruh Utama						
B	2604,167	1	2604,167	0,001	4,35	FALSE
D	230104,167	1	230104,167	0,112	4,35	FALSE
Interaksi						
BD	30104,167	1	30104,167	0,015	4,35	FALSE
Galat	41029583,333	20	2051479,167			
Total	41292395,833	23				

Dengan menggunakan *level of significance* (α)= 0,05 diperoleh nilai $F_{\text{tabel}} = F_{0,005; 3; 23} = 4,35$. Karena nilai $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ ($0,015 < 4,35$), maka H_0 ditolak. Sehingga tidak terdapat interaksi antara variasi jarak kait dan jenis kait pada tulangan bambu dengan kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu. Untuk F_{hitung} sebesar 0,015 maka didapatkan *level of significance* (α) untuk pengaruh utama Faktor BD adalah 0,97.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut, hasil dari perhitungan analisis perbandingan beban maksimum dengan memperhatikan interaksi antara jarak kait dengan jenis kait diperoleh nilai sebesar 1,06%, hasil dari perhitungan analisis perbandingan lendutan dalam kondisi elastis dengan memperhatikan interaksi antara jarak kait dengan jenis kait diperoleh nilai sebesar 6,93%.

Menggunakan metode tabel ANOVA dengan *level of significance* (α) = 0,05 diperoleh nilai $F_{\text{tabel}} = F_{0,005; 3; 23} = 4,35$. Karena nilai $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ ($0,015 < 4,35$), maka H_0 ditolak. Sehingga tidak terdapat interaksi antara variasi jarak kait dan jenis kait pada tulangan bambu dengan kait terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu. Untuk F_{hitung} sebesar 0,015 maka didapatkan *level of significance* (α) untuk pengaruh utama Faktor BD adalah 0,97.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak terdapat kekurangan serta keterbatasan, antara lain keterbatasan jumlah benda uji, dalam penelitian ini menggunakan metode statistik setengah faktorial untuk mengurangi jumlah benda uji yang terlampaui banyak, namun metode ini dirasa kurang efektif untuk penelitian ini karena dalam analisis untuk masing-masing variabelnya masih terdapat variabel lain yang mempengaruhi, terlebih lagi jika ada variabel yang lebih dominan daripada yang lain sehingga yang lain kurang terlihat pengaruhnya.

Selain itu keterbatasan penelitian ini adalah pada kapasitas beban yang dapat diberikan oleh alat pengujian, serta pelapisan pada tulangan bambu. Oleh karena itu, untuk penelitian diharapkan untuk memperbaiki kekurangan dan keterbatasan penelitian ini. Pada perencanaan benda uji dan perhitungan teoritis harus diperhatikan dengan benar sebelum membuat benda uji serta pastikan kapasitas alat yang digunakan untuk pengujian lebih besar dari perhitungan beban teoritis.

Selain itu, berdasarkan penelitian ini dan penelitian – penelitian sebelumnya pelapisan pada tulangan bambu menggunakan cat serta dilapisi pasir, namun masih saja terjadi selip pada saat pengujian, diharapkan ada pembaruan dalam menggunakan material untuk melapisi tulangan dari bambu.



DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C-33 02a. 2002. *Standard Spesification for Concrete Aggregates*. USA: Annual Books of ASTM Standards.
- Azadeh, A. 2013. *New Approaches to Bond Between Bamboo and Concrete*. 14th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies. Federal University of Paraiba. Brasil, 24th-27th March 2013.
- Bandar Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-2847-2002 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: ICS.
- Bandar Standarisasi Nasional. 2004. SNI 15-2049-2004 *Semen Portland*. Jakarta: BSN.
- Budi, A.S., Sambowo, K. A & Kurniawati, L. 2013. Model Balok Beton Bertulangan Bambu Sebagai Pengganti Tulangan Baja. *Konferensi Nasioanal Teknik Sipil* 7:245-252. Universitas Sebelas Maret. Surakarta, 24-26 Oktober 2013.
- Frick, H. 2004. *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu (Pengantar Konstruksi Bambu)*. Yogyakarta: Kanisius.
- Ghavami, K. 2005. *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Element*. *Journal of Cement & Concrete Composites*. XXVII: 637-649.
- Lestari, A.D. 2015. Pengaruh Penambahan Kait Pada Tulangan Bambu Terhadap Respon Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu. *Jurnal Rekayasa Sipil*. IX (2): 81-87.
- Liesse, W. 1980. Preservation of Bamboo, in Lessard, G. & Chouinard, A. *Bamboo Research in Asia*: 165-172. Canada: IDRC.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Publishing.
- Nawy, E.G. 1998. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Cetakan II. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Rochman, A. 2005. Peningkatan Kinerja Tulangan Bambu Pada Balok Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Gelagar*. XVI (1): 1-9.
- Suryadi, H., Agung, M.T., & Bangun, E.B. 2013. Pengaruh Modifikasi Tulangan Bambu Gombong Terhadap Kuat Cabut Bambu Pada Beton. *Konfereasi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*: 229-236. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Suseno, W. 2001. Tinjauan Kuat Lekat Bambu dalam Beton Untuk Perencanaan Bamboocrete. *Jurnal Teknik Sipil "SIPIL SOEPRA"*. III (8): 66-76.

Triwiyono, A. 2004. *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton – Topik Bahan Ajar*. Yogyakarta: UGM.

Wang, C.K. & Salmon, C.G. 1993. *Disain Beton Bertulang*. Edisi IV. Terjemahan Binsar Hariandja. Jakarta: Erlangga.

