

**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAMBU
TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BERTULANG BAMBU
DENGAN AGREGAT KASAR BATU *PUMICE***

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DWI PRASETYO AJI WIJAYA

NIM. 125060101111011

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAMBU TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BERTULANG BAMBU DENGAN AGREGAT KASAR BATU *PUMICE*

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DWI PRASETYO AJI WIJAYA
NIM. 125060101111011

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 2 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS
NIP. 19511211 198103 2 001

Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST., M.Sc
NIP. 201102 840705 1001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng.
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Pengaruh Penambahan Serat Bambu terhadap Kuat Lentur Balok Bertulang Bambu dengan Agregat Kasar Batu *Pumice*

Nama Mahasiswa : Dwi Prasetyo Aji Wijaya

NIM. : 125060101111011

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST., M.Sc

Dosen Penguji 3 : Christin Remayanti Nainggolan, ST., MT.

Tanggal Ujian : 28 Juli 2016

SK Penguji : 894/UN. 10.6/SK/2016

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 2 Agustus 2016

Mahasiswa,

Dwi Prasetyo Aji Wijaya

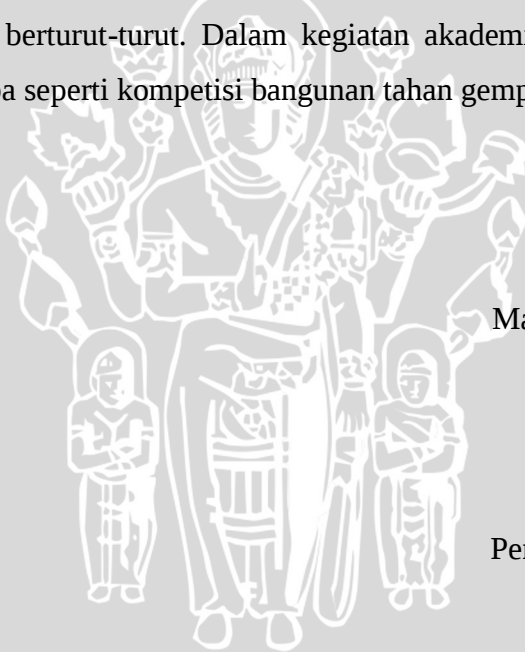
NIM. 125060101111011



RIWAYAT HIDUP

Dwi Prasetyo Aji Wijaya, kelahiran Malang, 22 April 1994, merupakan putra kedua dari ayah Edi Suhartono dan ibu Nurhidayati. Mulai mengenyam bangku pendidikan dasar di SDN Ngaglik 01 Kota Batu sejak tahun 2000 dan lulus pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Kota Batu dan lulus pada tahun 2009. Dan pada tahun 2012 telah dinyatakan lulus dari SMA Negeri 1 Kota Batu Program Ilmu Pengetahuan Alam.

Pada tahun 2012 mulai menjejak bangku perguruan tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Selama masa kuliah, aktif dalam kegiatan berorganisasi di kampus, meliputi pengabdian dalam kepengurusan Departemen Amara selama tiga periode berturut-turut. Dalam kegiatan akademis juga mendapatkan prestasi dalam kegiatan lomba seperti kompetisi bangunan tahan gempa di Taiwan.



Malang, Agustus 2016

Penyusun



KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Penambahan Serat Bambu terhadap Kuat Lentur Balok Bertulang Bambu dengan Agregat Kasar Batu *Pumice*” dapat terselesaikan. Judul tersebut diambil, karena pada umumnya beton ringan memiliki kekuatan yang lemah. Penambahan serat bambu merupakan alternatif mengatasi kuat tarik beton yang rendah selain tulangan. Dibutuhkan inovasi – inovasi baru dalam teknologi konstruksi yang hakekatnya, ide – ide baru tersebut dapat memberikan dampak positif, baik untuk diri sendiri, orang lain, maupun lingkungan sekitar.

Naskah ini disusun sebagai hasil dari kajian literatur dan penelitian eksperimental yang dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini tak lupa saya sampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan segenap keluarga besar yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta do’a demi terwujudnya skripsi ini.
2. Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
3. Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
4. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST. M.Sc., selaku dosen pembimbing I dan II,
5. Rekan tim skripsi, M. Hamzah, Mahening Desantoro N., dan M.Faizal yang telah bekerja sama dan berjuang selama beberapa bulan terakhir,
6. Teman-teman HMJoss yang telah mendukung selama proses penelitian,
7. Segenap Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya, khususnya sipil 2012 serta rekan-rekan Amara yang memberikan dukungan dan semangat selama penelitian ini berlangsung,

Terima kasih atas bantuan dan kontribusi pihak-pihak sebagaimana disebutkan, semoga Allah SWT selalu melimpahkan kasih sayang dan kebaikan-Nya.

Malang, Agustus 2016

Penyusun



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
RINGKASAN.....	xiii
SUMMARY	xv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identitas Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSATAKA	 5
2.1 Balok.....	5
2.2 Beton.....	5
2.3 Material Penyusun Beton.....	6
2.3.1 Semen	6
2.3.2 Agregat	8
2.3.3 Air.....	8
2.3.4 FAS.....	9
2.4 Beton Ringan	9
2.5 Beton bertulang.....	11
2.6 Beton Serat	12
2.7 Batu <i>Pumice</i>	14
2.8 Slump Test.....	15
2.9 Bambu.....	16
2.9.1 Sifat Bahan Bambu.....	18
2.9.2 Bambu sebagai Tulangan Beton	19

2.9.3 Zat Pelapis Bambu	21
2.9.4 Uji <i>Pull-Out</i> Tulangan Bambu	21
2.10 Kuat Tekan Beton.....	22
2.11 Balok	23
2.12 Kekakuan.....	23
2.13 Lentur pada Balok Beton Bertulang	24
2.14 Perilaku Lendutan	25
2.14.1 Perhitungan Defleksi	27
2.15 Berat Volume	28
2.16 Hipotesis Penelitian.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.3 Analisa Bahan	30
3.3.1 Semen	30
3.3.2 Air.....	30
3.3.3 Agregat Kasar.....	30
3.3.4 Agregat Halus.....	30
3.3.5 Tulangan Bambu	30
3.3.6 Serat Bambu	30
3.4 Variabel Penelitian	31
3.5 Rancangan Penelitian	31
3.6 Benda Uji dan <i>Setting</i>	32
3.7 Prosedur Penelitian.....	37
3.8 Metode Analisis Data	37
3.8.1 Analisis Kuat Lentur Balok.....	37
3.8.2 Analisis Statistik.....	38
3.9 Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Hasil Pengujian Beton	43
4.1.1 Pengujian Beton Segar	43
4.1.2 Pengujian Beton Keras	44

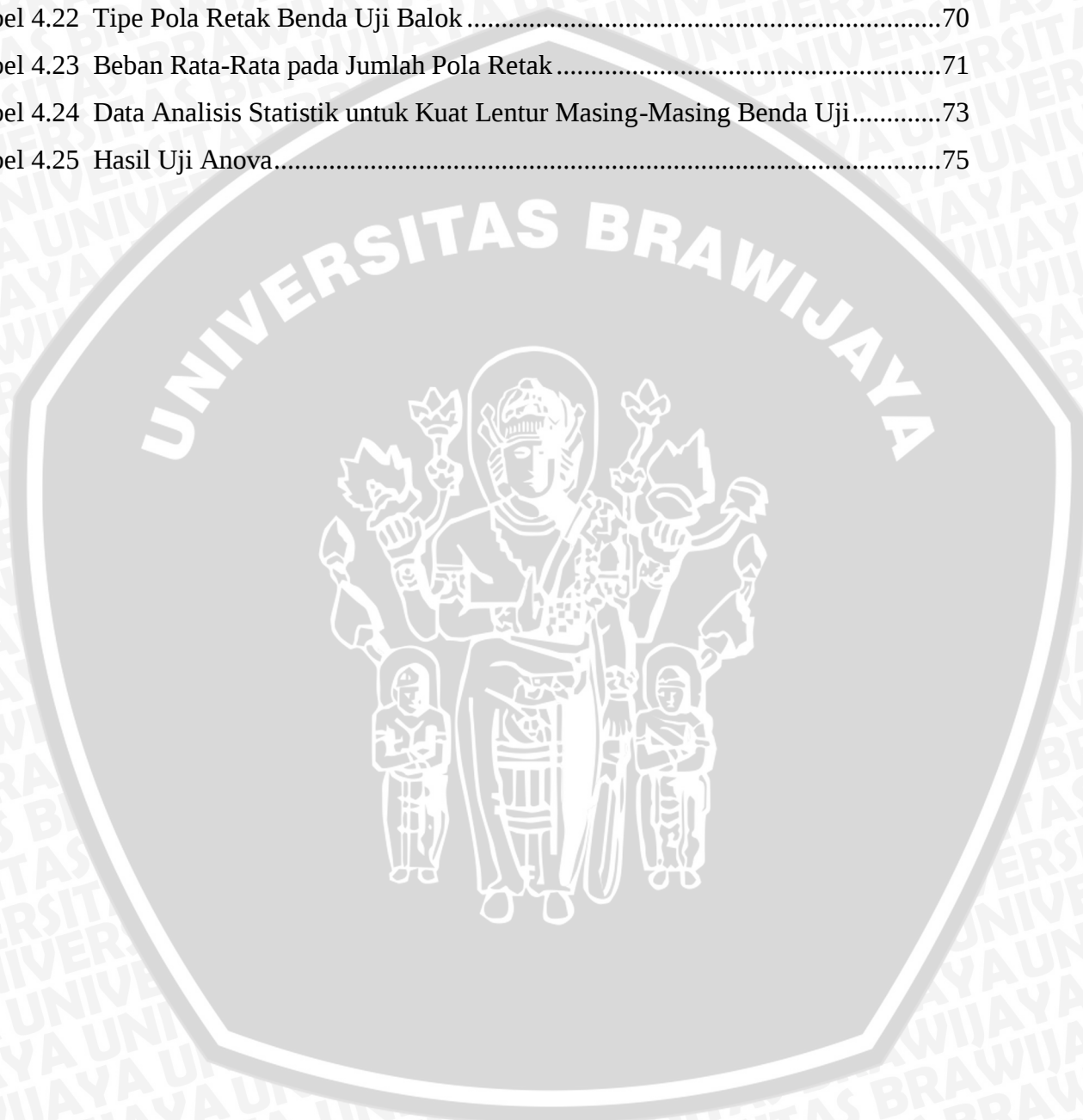
4.2 Hasil Pengujian <i>Pull-out</i> Tulangan Bambu	48
4.3 Analisa Perhitungan Beban Maksimum (Pu)	50
4.3.1 Pemodelan Struktur	50
4.3.2 Kapasitas Lentur	51
4.3.3 Beban Vertikal Maksimum Balok Aktual	53
4.4 Berat Volume Balok	56
4.4.1 Berat Volume Teoritis	56
4.4.2 Berat Volume Aktual	58
4.5 Analisa Kekakuan Balok	59
4.5.1 Lendutan	59
4.5.2 Perhitungan Kekakuan Balok	64
4.5.3 Grafik Hubungan $P - \Delta$	65
4.6 Korelasi Retak dengan Beban Maksimum	69
4.7 Analisa Statistik	73
4.7.1 Uji Anova	73
4.7.2 Uji Regresi	76
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	85



DAFTAR TABEL

No	Judul	
Tabel 2.1	Persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah rata-rata untuk beton ringan struktural	10
Tabel 2.2	Sifat Fisik Batu <i>Pumice</i>	14
Tabel 2.3	Petunjuk awal penetapan nilai slump	15
Tabel 2.4	Tabel tegangan batas dan tegangan Ijin Bambu.	19
Tabel 2.5	Tegangan Tarik Bambu Oven	19
Tabel 2.6	Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu	20
Tabel 2.7	Pul- out test	22
Tabel 2.8	Rumus defleksi.	28
Tabel 3.1	Variabel Rancangan Faktorial Sebagian	33
Tabel 3.2	Rancangan Faktorial Sebagian	33
Tabel 3.3	Rencana form data benda uji balok	37
Tabel 4.1	Nilai Uji Slump Beton	43
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $A_1B_2C_2$	45
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $A_2B_2C_1$	45
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $A_1B_1C_1$	46
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $A_2B_1C_2$	46
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $A_0B_2C_1$	47
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal	47
Tabel 4.8	Tegangan Lekat Tulangan Bambu dengan Beton	49
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Beban Maksimum Teoritis	53
Tabel 4.10	Hasil Pebandingan antara Beban Maksimum Hasil Eksperimen dengan Teoritis	54
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_1B_2C_2$	56
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_2B_2C_1$	56
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_2B_1C_2$	57
Tabel 4.14	Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_1B_1C_1$	57
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_0B_2C_1$	57
Tabel 4.16	Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok Beton Normal	57

Tabel 4.17 Hasil Pengukuran Berat Volume Aktual.....	58
Tabel 4.18 Perbandingan Nilai Rata-rata Berat Volume Beton Aktual dan Teoritis.....	59
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan EI Beton.....	60
Tabel 4.20 Perbandingan Nilai Lendutan Aktual dan Teoritis.....	63
Tabel 4.21 Kekakuan Balok.....	65
Tabel 4.22 Tipe Pola Retak Benda Uji Balok.....	70
Tabel 4.23 Beban Rata-Rata pada Jumlah Pola Retak.....	71
Tabel 4.24 Data Analisis Statistik untuk Kuat Lentur Masing-Masing Benda Uji.....	73
Tabel 4.25 Hasil Uji Anova.....	75



DAFTAR GAMBAR

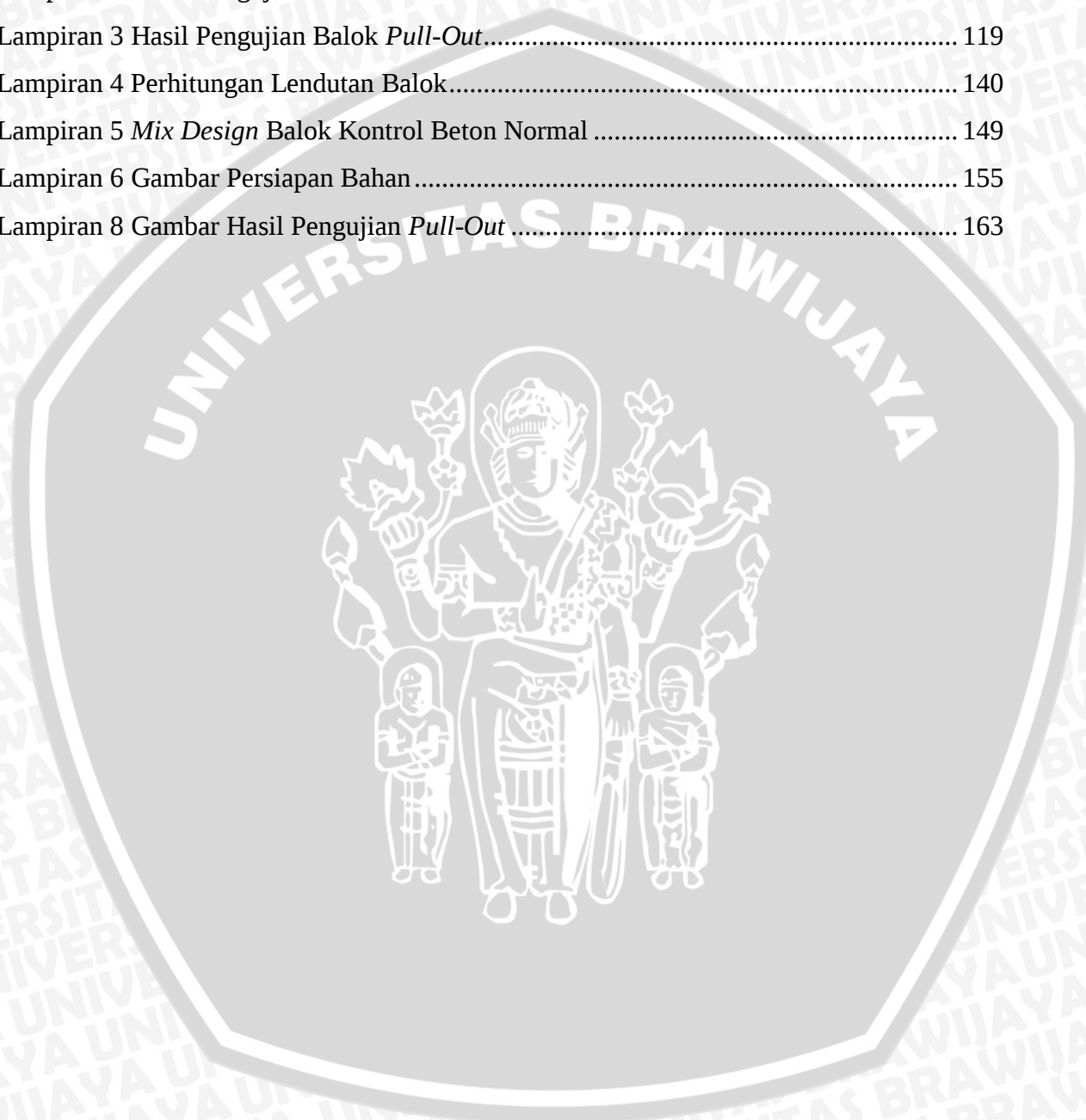
No	Judul	
Gambar 2.1	Slump shear	16
Gambar 2.2	Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air	18
Gambar 2.3	Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja.....	20
Gambar 2.4	Distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton	25
Gambar 2.5	Hubungan Beban-Lendutan pada Balok.....	26
Gambar 2.6	Defleksi balok tunggal dengan beban merata.....	27
Gambar 3.1	Potongan memanjang benda uji balok tulangan bambu rasio 1% (a), 2% (b), dan balok tulangan baja rasio 1% (c).....	34
Gambar 3.2	Potongan melintang benda uji balok dengan tulangan bambu rasio 1% (a), 2% (b) dan balok tulangan baja rasio 1%.	35
Gambar 4.1	Pengujian slump.....	44
Gambar 4.2	Grafik perbandingan kuat tekan beton pada komposisi tinggi (B_2).....	48
Gambar 4.3	Grafik perbandingan kuat tekan beton pada komposisi rendah (B_1)	48
Gambar 4.4	Pengujian pull-out bambu.....	50
Gambar 4.5	Pemodelan pembebanan struktur	50
Gambar 4.6	Potongan melintang balok beton dengan rasio 1.5% (kiri) dan 1% (kanan) ...	51
Gambar 4.7	Setting pengujian pembebanan balok	53
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan P_{maks} Aktual	56
Gambar 4.9	Momen dan bidang conjugate.....	61
Gambar 4.10	Grafik perbandingan $P - \Delta$ balok $A_1B_2C_2$, $A_0B_2C_1$, dan beton normal	66
Gambar 4.11	Grafik perbandingan $P - \Delta$ balok $A_2B_1C_2$, $A_0B_2C_1$, dan beton normal	67
Gambar 4.12	Grafik perbandingan $P - \Delta$ balok $A_1B_1C_1$, $A_0B_2C_1$, dan beton normal	67
Gambar 4.13	Grafik perbandingan $P - \Delta$ balok $A_2B_2C_1$, $A_0B_2C_1$, dan beton normal	68
Gambar 4.14	Grafik hubungan jumlah pola retak dengan P_{maks}	72
Gambar 4.15	Hubungan regresi untuk benda uji $A_1B_2C_1$ dan $A_2B_1C_1$	77
Gambar 4.16	Hubungan regresi untuk benda uji $A_1B_1C_2$ dan $A_2B_2C_2$	78

(halaman kosong)



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	
Lampiran 1	Perhitungan Kapasitas Balok	85
Lampiran 2	Hasil Pengujian Balok.....	90
Lampiran 3	Hasil Pengujian Balok <i>Pull-Out</i>	119
Lampiran 4	Perhitungan Lendutan Balok.....	140
Lampiran 5	<i>Mix Design</i> Balok Kontrol Beton Normal	149
Lampiran 6	Gambar Persiapan Bahan.....	155
Lampiran 8	Gambar Hasil Pengujian <i>Pull-Out</i>	163





RINGKASAN

Dwi Prasetyo Aji Wijaya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2016, *Pengaruh Penambahan Serat Bambu terhadap Kuat Lentur Balok Bertulang Bambu dengan Agregat Kasar Batu Pumice*, Dosen Pembimbing: Sri Murni Dewi dan Ming Narto Wijaya.

Teknologi bahan dalam bidang konstruksi terus dikembangkan, salah satu penerapannya adalah beton ringan. Berat jenisnya yang lebih kecil bila dibandingkan dengan beton normal merupakan keunggulan dari beton ringan. Beton ini dibuat dengan material penyusun yang memiliki berat lebih ringan daripada material penyusun pada beton normal. Material penyusun beton ringan salah satunya adalah penggunaan agregat kasar batu *pumice*. Disamping memiliki kelebihan, beton ringan juga memiliki kelemahan, yaitu kemampuan kuat tariknya yang lemah dibanding dengan kuat tekanannya. Oleh karena itu perlu adanya tulangan untuk menutupi kekurangan dari beton. Penggunaan bambu merupakan salah satu pilihan yang baik pengganti tulangan baja untuk mengurangi berat sendiri dari beton. Mengingat, bambu memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Bahan alternatif lain untuk mengatasi kuat tarik beton yang rendah selain tulangan adalah dengan penambahan serat.

Penelitian ini didesain menggunakan rancangan setengah faktorial, sehingga didapatkan data yang semaksimal mungkin dengan benda uji yang lebih sedikit. Variasi yang ada dalam percobaan ini diantaranya adalah kadar serat bambu sebesar 40 gr/volume benda uji dan 150 gr/volume benda uji (A1 dan A2), perbandingan semen dan agregat sebesar 1:2:1 dan 1:2,5:1,5 (B1 dan B2), serta rasio tulangan bambu 1% dan 1,5% (C1 dan C2). Masing-masing benda uji balok memiliki dimensi 160x15x20 dengan pengulangan sebanyak 3 kali pada setiap benda uji. Dibuat juga balok beton *pumice* tanpa penambahan serat dan juga beton normal sebagai pembanding. Dalam proses pengujian, balok diletakkan di atas dua tumpuan sederhana dengan beban terpusat dibagi menjadi dua titik. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pengujian lentur murni. *Dialgauge* diletakkan di tengah bentang untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi.

Dari hasil pengujian balok dengan komposisi $A_1B_2C_2$, $A_2B_2C_1$, $A_2B_1C_2$ dan $A_1B_1C_1$ beban maksimum yang mampu ditahan berturut-turut adalah 2200 kg, 1900 kg, 1716,67 kg, dan 1950 kg. Dengan mengabaikan pengaruh B (komposisi semen agregat) dan C (rasio tulangan), balok dengan penambahan kadar serat 40 gr mampu menahan beban 2075 kg. Sedangkan balok dengan penambahan serat 150 gr mampu menahan beban 1808 kg. Hal ini berarti balok dengan penambahan serat 40 gr mampu menahan beban lebih besar dibandingkan dengan balok yang ditambahkan serat kadar tinggi yaitu sebesar 150 gr. Akan tetapi keduanya memiliki kekuatan diatas beton tanpa serat yang hanya mampu menahan beban 950 kg. Dan dibawah beton normal yang bisa menahan beban hingga 2850 kg. Nilai lendutan pada komposisi $A_1B_2C_2$, $A_2B_2C_1$, $A_2B_1C_2$ dan $A_1B_1C_1$ sebesar 0,27 mm, 0,32 mm, 0,26 mm dan 0,44 mm. Ini diambil ketika balok masih dalam keadaan elastis yaitu saat beban yang bekerja sebesar 200 kg. Dan untuk nilai kekakuan tiap komposisi pada kondisi elastis ialah 793,87 kg/mm, 661,61 kg/mm, 783,87 kg/mm dan 487,33 kg/mm.

Hasil pengujian anova menunjukkan terdapat pengaruh yang tidak signifikan pada penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*. Hal ini dibuktikan dengan analisis varians (anova) terhadap kuat lentur balok uji yang membuktikan adanya peningkatan dengan tingkat kepercayaan sebesar 72% ($\alpha=28\%$).

Kata kunci : balok, serat, beban maksimum, komposisi, tulangan bambu



SUMMARY

Dwi Prasetyo Aji Wijaya, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, August 2016, *Effect of Adding Bamboo Fiber to the Flexural Strength of Bamboo Reinforce Concrete Beam with Pumice Stone Aggregate*, Academic Supervisor: Sri Murni Dewi and Ming Narto Wijaya.

Materials technology in construction has been continually developed, one of the application is lightweight concrete. Smaller density than normal concrete are the advantages of lightweight concrete. This concrete is made by the constituent material which has a lighter weight than the constituent material for the normal concrete. One of lightweight concrete constituent materials is the use of coarse aggregate of pumice stone. Besides the advantages, lightweight concrete has also drawbacks, namely the ability of its tensile strength is weak compared with the strong of its pressure. Therefore, it should have a reinforcement to cover the drawbacks of this concrete. The use of bamboo is one good choice as substitute for steel reinforcement to reduce its own weight of the concrete, because bamboo has a high enough strength. Another alternative material to resolve the low tensile strength of concrete other than reinforcement is with the addition of fiber.

This study was designed to use half-factorial design, so we get the data as closely as possible with fewer test objects. Variation in these experiments include bamboo fiber content of 40 g / volume of the test specimen and 150 gr / volume of the test specimen (A1 and A2), the ratio of cement and aggregate of 1:2:1 and 1:2,5:1,5 (B1 and B2), as well as bamboo reinforcement ratio of 1% and 1.5% (C1 and C2). Each the test specimen beam has dimensions of 160x15x20 with replication 3 times on each the test specimen. It was also made the pumice concrete beam without addition of fiber as well as a normal concrete as comparison. In the testing process, the beam placed on two simple supported by the concentrated load is divided into two points. It aims to obtain a pure flexural test results. Dial Gauge is placed at middle span to know a large deflection occurs.

From the test results beams with composition $A_1B_2C_2$, $A_2B_2C_1$, $A_2B_1C_2$ and $A_1B_1C_1$ of the maximum load that capable detained is 2200 kg, 1900 kg, 1716.67 kg, and 1950 kg, respectively. By ignoring the effect of B (aggregate cement composition) and C (reinforcement ratio), beams with the addition of 40 grams of fiber content is able to withstand the load 2075 kg, while the beams with the addition of 150 gr of fiber is capable to withstand the load 1808 kg. This means that with the addition of fiber 40 gr is able to withstand the greater load than the fiber beam added with high levels of 150 gr. However both have the power over the concrete without fiber that is only able to withstand a load of 950 kg. And under normal concrete that can withstand loads up to 2850 kg. This value deflection on the composition of $A_1B_2C_2$, $A_2B_2C_1$, $A_2B_1C_2$ and $A_1B_1C_1$ as much as 0,27 mm, 0,32 mm, 0,26 mm and 0,44 mm. It was taken when the beam is still in a state of elastic that is currently working load of 200 kg. And for the stiffness value of each composition on the elastic condition was 793.87 kg / mm, 661,61 kg/mm, 783,87 kg/mm and 487,33 kg/mm.

The test results of ANOVA showed that there is no real effect on the addition of bamboo fiber for the bamboo reinforced beam flexural strength with a pumice stone aggregate. This was evidenced by analysis of variance (ANOVA) for flexural strength of the test beam that proves an increasing with the confidence level of 72% ($\alpha=28\%$).

Keywords: beam, fiber, maximum load, composition, bamboo reinforcement



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton bertulang di dalam sebuah konstruksi terus meningkat seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk. Material penyusun beton yang murah serta mudah dibentuk sesuai dengan perencanaan membuat beton masih digemari para praktisi teknik sipil dalam pembangunan gedung, jembatan ataupun konstruksi lainnya. Namun seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan teknologi terus dikembangkan, begitu juga dengan teknologi bahan konstruksi. Salah satu penerapan teknologi di bidang konstruksi adalah beton ringan.

Kebutuhan akan beton ringan dalam era modern seperti saat ini sudah mulai banyak digunakan. Berat jenisnya yang lebih kecil bila dibandingkan dengan beton normal merupakan keunggulan dari beton ringan. Berat sendiri dari elemen struktur menjadi berkurang dan akan memberikan banyak keuntungan, terutama biaya yang harus dikeluarkan menjadi lebih murah.

Beton ringan dibuat dengan material penyusun yang memiliki berat lebih ringan daripada material penyusun pada beton normal. Material penyusun beton ringan salah satunya adalah penggunaan agregat ringan. Agregat ringan ini memiliki dua jenis, yaitu alami dan buatan. Namun penggunaan agregat yang berasal dari alam lebih banyak digunakan karena mudah didapat serta ramah lingkungan. Dalam kajian ini agregat kasar yang digunakan adalah batu apung jenis *pumice*. Keunggulan batu apung yaitu mempunyai berat jenis yang ringan sehingga banyak dipakai untuk menghasilkan beton ringan.

Disamping banyaknya kelebihan yang dimiliki oleh beton, ternyata beton juga memiliki kelemahan. Salah satunya adalah kemampuan kuat tariknya yang lemah dibanding dengan kuat tekanannya, baik beton normal maupun beton ringan. Dibandingkan kuat tekan beton nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% (Mulyono, 2004) atau 10% - 15% dari kuat tekannya. Oleh karena itu perlu adanya tulangan untuk menutupi kekurangan dari beton. Pada umumnya tulangan yang digunakan terbuat dari material baja atau besi. Penggunaan

material baja sebagai tulangan terus meningkat seiring dengan banyaknya permintaan akan kebutuhan baja dan besi akibat pesatnya pembangunan yang terus dilakukan. Tentu saja hal ini akan memicu kenaikan harga menjadi mahal. Selain itu, bahan dasar pembuatan baja (bijih besi) merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui sehingga apabila tidak ada upaya untuk mencari alternatif lain pengganti baja sebagai tulangan, maka bukan hal yang mustahil apabila baja akan menjadi langka karena penggunaan yang terus menerus dalam jangka waktu lama. Perlu adanya alternatif penggunaan lain pengganti baja sebagai tulangan. Penggunaan bambu merupakan salah satu pilihan yang baik pengganti tulangan baja.

Bambu adalah material alam yang banyak dijumpai dan dapat tumbuh dengan cepat di Indonesia. Bambu dapat tumbuh vertikal 5 cm perjam atau 120 cm per hari pada masa pertumbuhan (Morisco, 1996). Sudah sejak lama masyarakat memanfaatkan bambu sebagai salah satu bahan konstruksi. Tak jarang pemanfaatan bambu digunakan sebagai jembatan sederhana, dinding, perabot rumah tangga, barang kerajinan atau dibuat pagar oleh masyarakat di pelosok-pelosok desa. Hal ini karena selain bambu merupakan produk alam yang *renewable*, mudah ditanam, murah, pertumbuhannya yang cepat, bambu juga memiliki kuat tarik yang cukup tinggi mencapai 1280 kg/cm^2 (Morisco, 1996).

Bahan alternatif lain untuk mengatasi kuat tarik beton yang rendah selain tulangan adalah dengan penambahan serat. Serat memiliki sifat mekanis sehingga tidak akan bereaksi secara kimiawi dengan bahan pembentuk beton lainnya. Beton serat (*fibre reinforce concrete*) merupakan modifikasi dari beton konvensional dengan tambahan serat pada adukannya. Adukan beton yang ditambahkan serat dan dicampur secara acak akan membuat beton terhindar dari retak-retak yang terlalu dini. Serat dapat membantu menyatukan dan mengikat campuran beton setelah terjadinya pengikatan awal dengan pasta semen. Menurut ACI Communitte 544 (1988), jenis serat yang dapat memperbaiki kelemahan dari beton yaitu baja (*steel*), sintesis (*synthetic*), kaca (*grass*), karbon (*carbon*) dan serat alamiah (*natural fiber*). Penggunaan serat sintesis dalam campuran beton sudah banyak dilakukan, tetapi pada daerah-daerah pinggiran serat sintesis masih sangat sulit ditemukan. Serat alam memiliki jumlah yang lebih melimpah dan mudah didapat. Dalam penelitian ini, serat yang digunakan sebagai bahan campuran adalah serat bambu. Penggunaan bambu sebagai bahan serat dalam campuran beton didasarkan pada pertimbangan bahwa bambu memiliki kuat tarik yang cukup tinggi, proses membuat bahan baku menjadi serat lebih mudah dan tidak

memerlukan peralatan khusus, harganya yang relatif terjangkau, serta populasi bambu yang banyak sehingga mudah diperoleh.

Penambahan serat bambu dalam campuran beton tentu saja akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap perilaku beton. Oleh karena itu untuk mengetahui pengaruh tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan data-data yang diperlukan. Pada penelitian ini hanya difokuskan membahas tentang kapasitas lentur beton bertulang bambu dengan penambahan serat bambu pada struktur balok dengan menggunakan agregat batu *pumice*.

1.2 Identitas Masalah

Beton adalah bahan yang memiliki sifat getas dan memiliki kekuatan tarik hanya sekitar 9% - 15% dari kekuatan tekannya. Oleh karena itu perlu ada perlakuan khusus untuk meningkatkan kelemahan dari beton tersebut. Telah banyak usaha penelitian untuk mengatasinya, salah satunya adalah penambahan serat sebagai campuran beton. Pada beberapa penelitian, menjelaskan bahwa penambahan serat pada adukan beton dapat menahan retak-retak yang mungkin terjadi akibat tegangan tarik pada daerah beton tarik, sehingga kuat tarik beton serat dapat lebih tinggi dibandingkan kuat tarik beton biasa. Penggunaan serat memperlihatkan beberapa keuntungan potensial bila digunakan untuk tambahan campuran beton. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk memberikan gambaran seberapa besar pengaruh serat alami berupa bambu terhadap kuat lentur pada beton ringan sehingga nantinya dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan beton yang ringan tetapi memiliki keadalan dalam menahan beban.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka didapat rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu : Bagaimana pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur maksimum pada balok beton bertulang bambu dengan agregat kasar batu *pumice* ?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda uji berupa balok dengan dimensi 160x15x20 cm.
2. Beton menggunakan campuran semen, pasir dan batu *pumice* dengan perbandingan 1 : 2,5 : 1,5 dan 1 : 2 : 1.

3. Tidak dilakukan pengujian khusus terhadap bambu dan serat yang akan digunakan serta masing-masing bambu dianggap memiliki kualitas yang sama.
4. Menggunakan tulangan bambu dan sengkang dengan ukuran yang telah ditentukan.
5. Bambu yang digunakan adalah bambu jenis ori.
6. Serat yang digunakan adalah serat yang berasal dari produsen tusuk sate yang ada di daerah Cemoro Kandang Kota Malang.
7. Penambahan serat hanya terbatas sebesar 150 gram dan 40 gram.
8. Serat yang digunakan memiliki panjang bervariasi.
9. Serat dianggap tersebar merata secara acak dalam campuran beton.
10. Pengamatan yang dilakukan meliputi beban yang terjadi dan lendutan.
11. Agregat yang digunakan berupa batu pemice yang didapat dari Lombok.
12. Pasir yang digunakan berasal dari Lumajang yang ada di pasaran.
13. Kadar air bambu diabaikan.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok beton bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan kontribusi akademis pada berbagai pihak yang berminat pada pengembangan sumber daya bambu, khususnya pada pemanfaatan serat bambu pada beton ringan.
2. Memberikan informasi praktis bagi masyarakat dalam pemanfaatan limbah serat bambu dalam campuran beton.
3. Sebagai bahan informasi bagi peneliti berikutnya yang memiliki minat dalam bidang struktur berbahan baku bambu.

BAB II

TINJAUAN PUSATAKA

2.1 Balok

Balok (*Beam*) adalah salah satu elemen struktur yang digunakan untuk mentransfer beban vertical secara horizontal. Meskipun dianggap sederhana dalam hal konstruksi, balok mempunyai karakteristik internal yang lebih rumit dalam memikul beban dibandingkan elemen struktur yang lain, misalnya rangka batang maupun kabel. (Schodek, 1998)

Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen punter), sehingga perlu adanya tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan yang digunakan ini bisa berupa tulangan memanjang ataupun longitudinal serta tulangan geser/begel. (Asroni, 2010)

2.2 Beton

Beton adalah bahan yang sering digunakan di dalam pembangunan bidang teknik sipil, baik pada pembangunan gedung, jembatan, bendungan, maupun konstruksi lainnya. Beton memiliki beberapa keunggulan sebagai bahan konstruksi antara lain kemampuan kuat tekan yang besar, campuran beton mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, tahan lama, kemudahan penyediaan material beton sehingga memudahkan pembuatan campuran beton, dan biaya pemeliharaan yang murah. Namun beton juga memiliki kekurangan yaitu kuat tarik rendah yang menyebabkan beton mudah retak, oleh karena itu beton dikombinasikan dengan tulangan yang bertujuan untuk memberikan kuat tarik pada beton.

Secara sederhana, beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus berupa pasir, dan agregat kasar berupa batu pecah atau jenis batuan lainnya. Selain itu terkadang beton juga ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton tersebut. Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta semen, yang berfungsi sebagai bahan ikat. Sedangkan pasir dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi, sekaligus bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dengan agregat ini menjadi kesatuan yang akan menjadi keras serta padat yang disebut beton.

Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis. Menurut Nasution (2009) perencanaan pembuatan beton harus ditentukan secara proporsional, sehingga terpenuhi syarat-syarat:

1. Kekenyalan atau kelecakan (*workability*) tertentu yang memudahkan adukan beton ditempatkan pada cetakan/bekisting (sifat kemudahan dalam mengerjakan) dan memberikan kehalusan permukaan beton basah. Kekenyalan ditentukan dari:
 - a. Volume pasta adukan
 - b. Keenceran pasta adukan
 - c. Perbandingan campuran agregat halus dan kasar
2. Kekuatan rencana dan ketahanan beton setelah mengeras.
3. Ekonomis dan optimum dalam pemakaian semen.

2.3 Material Penyusun Beton

Kualitas dari bahan penyusun sangat menentukan kualitas beton. Maka dari itu supaya diperoleh beton yang baik, maka harus dipilih bahan susun yang memiliki kualitas baik pula. Bahan penyusun beton yang baik memiliki persyaratan-persyaratan tertentu yang sepadat mungkin harus dipenuhi. Komponen penyusun beton bertulang antara lain semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan tulangan. Berikut penjelasan fungsi dan karakteristik komponen penyusun tersebut.

2.3.1 Semen

Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif (*adhesive*) dan kohesif (*cohesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen – fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Meskipun definisi ini dapat diterapkan untuk banyak jenis bahan, semen yang dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang adalah bahan yang jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hidraulis (*hydraulic cements*). (Wang & Salmon, 1985).

Semen merupakan bahan yang bertindak sebagai pengikat untuk agregat. Jika dicampur dengan air, semen menjadi pasta. Dengan proses waktu dan panas, reaksi kimia akibat campuran air dan semen menghasilkan sifat perkerasan pasta semen. Semen semacam ini terutama terdiri dari silikat (*silicates*) dan *lime* yang terbuat dari batu kapur dan tanah liat (batu tulis) yang digerinda, dicampur, dibakar di dalam pembakaran kapur (kiln), dan

kemudian dihancurkan menjadi tepung. Semen semacam ini secara kimia dicampur dengan air (*hydration*) untuk membentuk massa yang mengeras. Semen hidrolik biasa yang dipakai untuk beton bertulang dinamakan semen Portland (*Portland cement*), karena setelah mengeras mirip dengan batu Portland yang diketemukan di dekat Dorset, Inggris. Nama ini diawali dengan sebuah hak paten yang diperoleh oleh Joseph Aspdin dari Leeds, Inggris, pada tahun 1824 (Wang & Salmon, 1985).

Nawy (1998) menyatakan bahwa semen portland dibentuk dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan alumunium silikat. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silica (SiO_2) – dari lempung,
3. Alumina (Al_2O_3) – dari lempung
4. Sedikit persentase magnesia, MgO , dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya.

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.

Berdasarkan tujuan pemakaiannya semen sebagai bahan bangunan dapat diklasifikasikan menjadi lima, yaitu :

- a. Jenis I adalah semen untuk pemakain konstruksi secara umum dan diproduksi paling banyak pada saat ini.
- b. Jenis II adalah semen untuk pemakaian konstruksi secara umum, namun dengan persyaratan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III adalah semen untuk pemakaian kekuatan awal tinggi dan digunakan pada struktur beton yang segera dioperasikan.
- d. Jenis IV adalah semen untuk pemakaian panas hidrasi rendah dan digunakan pada beton masif dalam volume yang besar.
- e. Jenis V adalah semen untuk pemakaian tahan sulfat dan digunakan pada beton di lingkungan sulfat ganas.

2.3.2 Agregat

Agregat yaitu pasir dan kerikil merupakan bahan pengisi. Untuk beton yang ekonomis, adukan harus dibuat sebanyak mungkin agregatnya. Agregat yang baik adalah yang tidak bereaksi kimia dengan unsur-unsur semen (Nasution, 1998). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah diantara agregat yang berukuran besar (Nawy, 1998).

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60%-80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh masa beton dapat berfungsi sehingga benda yang utuh, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. Adapun jenis agregat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Agregat Kasar

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek merusak 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. Agregat Halus

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yaitu sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (*American Society of Testing and Materials*) (Nawy, 1998).

2.3.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumasi campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Karena pasta semen merupakan

hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka yang menentukan adalah perbandingan antara air dan semen. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi seluruhnya tidak selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya.

Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, bahan – bahan organis atau bahan lain yang dapat merusak beton atau tulangnya. (Nurlina,2008)

2.3.4 FAS

Faktor air semen atau *Water Cement Ratio* (W.C.R) sangat mempengaruhi kekuatan beton. Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton. Fungsi FAS yaitu :

- Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- Memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*Workability*). Semakin tinggi nilai FAS, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namuni nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Umumnya nilai FAS yang diberikan minimum 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2004).

Nilai FAS dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$FAS = \frac{\text{berat air pada campuran beton}}{\text{berat semen pada campuran beton}} \quad (2-1)$$

Menurut Tjokrodinuljo, 1996 “Semakin besar nilai FAS, maka besar pula jumlah air yang digunakan pada campuran beton, berarti adukan beton akan semakin encer dan mutu beton akan semakin turun/rendah”. Oleh karena itu FAS yang akan digunakan harus dipertimbangkan dengan baik, agar adukan tidak terlalu kental ataupun terlalu encer. Umumnya nilai FAS yang diberikan minimum 0.4 – 0.65.

2.4 Beton Ringan

Menurut SNI 03-3449-2002, beton ringan struktural adalah beton yang memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ dan

harus memenuhi ketentuan kuat tekanan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural.

Agregat kasar merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam berat isi beton ringan. Agregat kasar untuk beton ringan ada dua jenis yaitu : agregat ringan alami dan buatan. Agregat ringan alami adalah agregat yang didapat dari bahan – bahan alami seperti skoria, batu apung, atau tufa. Agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan melalui pemanasan bahan-bahan, seperti terak dari peleburan besi, diatome, tanah liat, abu sabak, batu serpih, abu terang, perlit, vemikulit, dan batu lempung.

Tabel 2.1 *Persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah rata-rata untuk beton ringan struktural*

Berat isi kering udara 28 hari, maksimum (kg/cm ³)	Kuat tarik belah (tidak langsung) rata-rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa)
Semua agregat ringan		
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2,0	17
Agregat ringan dan pasir		
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,0	17

CATATAN 1 : Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata 3 buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari 6 benda uji,

CATATAN 2 : Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat diperoleh dengan penambahan atau interpolasi,

CATATAN 3 : Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan bila rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah,

CATATAN 4 : 1 MPa $\approx$ 10 kg/cm².

Sumber : SNI 03-2461-2002

2.5 Beton bertulang

Beton bertulang (*Reinforced concrete*) adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan non-prategang minimum yang telah ditetapkan (SNI 2847-2013).

Beton merupakan material yang bersifat getas atau dengan kata lain material yang kuat menahan tekan namun lemah dalam menahan tarik. Dari permasalahan tersebut maka munculah ide atau solusi yaitu dengan memberikan tulangan baja pada beton. Sehingga, tarik akan ditahan oleh baja dan tekan akan ditahan oleh beton. Dalam perencanaanya, beton bertulang diasumsikan bahwa beton dan tulangan baja bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Secara umum beton bertulang mempunyai lebih banyak kelebihan dibandingkan dengan kekurangannya.

Kelebihan beton bertulang :

1. Ekonomis.
2. Mudah dicetak atau dibentuk.
3. Tahan terhadap api yang tinggi.
4. Mempunyai kekakuan yang tinggi.
5. Biaya perawatan yang rendah.
6. Material pembentuknya mudah didapat.

Kekurangan beton bertulang :

1. Membutuhkan bekisting (cetakan) dan penumpu sementara selama konstruksi.
2. Rasio kekuatan terhadap berat yang rendah.
3. Stabilitas volume beton bertulang relatif rendah.

Dalam merencanakan beton bertulang terdapat dua metode yaitu metode beban kerja dan metode kekuatan batas. Metode kekuatan batas merupakan metode yang paling umum dipakai dalam merencanakan beton bertulang. Pada metode tersebut beban yang ada dikalikan dengan suatu faktor beban dengan pemikiran untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat ambang keruntuhan. Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur beton bertulang direnakan sedemikian rupa sehingga nilai kuat guna perencanaan pada saat runtuh besarnya sedikit lebih kecil dari kuat batas runtuh sesungguhnya.

Terdapat tiga kondisi yang perlu diperhatikan dalam perencanaan beton bertulang. Pertama, kondisi *balance* yaitu kondisi dimana saat beban maksimum terjadi maka tulangan

baja dan beton runtuh bersama-sama. Kedua, kondisi *over reinforce* yaitu kondisi dimana saat terjadi beban maksimum maka beton akan mengalami runtuh terlebih dahulu sebelum tulangan baja. Ketiga, kondisi *under reinforce* dimana saat terjadi beban maksimum maka tulangan baja mengalami runtuh terlebih dahulu sebelum beton. Kondisi yang paling sering direncanakan dan diinginkan adalah kondisi *under reinforce* karena saat tulangan baja mengalami leleh terlebih dahulu maka akan terlihat lendutan dari tulangan baja. Saat terjadi hal itu maka kita dapat melakukan antisipasi agar struktur tidak *collapse* atau paling tidak kita dapat menyelamatkan diri

2.6 Beton Serat

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari agregat dan terbungkus oleh matrik semen yang mengisi ruang diantara partikel-partikel, sehingga membentuk satu kesatuan.

Beton serat dapat didefinisikan sebagai beton yang terdiri dari semen atau bahan pengikat hidrolis lainnya yang ditambah dengan agregat kasar dan halus, air dan diperkuat dengan penambahan serat. Beton serat sendiri terdiri dari dua macam yaitu beton dengan serat buatan dan serat alami. Sedangkan jenis serat yang digunakan dapat dibedakan menjadi 4 jenis serat, yaitu (Balaguru and Shah, 1992):

1. Serat logam, misalnya serat besi dan *stainless steel*
2. Serat *polymeric*, misalnya serat *polypropylene* dan serat *nylon*
3. Serat mineral, misalnya fiberglass
5. Serat alam, misalnya serat tebu, serat batang pohon kelapa, serat serabut kelapa, serat bambu, dan lain-lain

Keuntungan dari pemakaian serat pada campuran beton antara lain meningkatkan kuat tarik dan ketahanan retak awal beton. Soroushian (1987) menjelaskan mekanisme kerja serat beton sehingga dapat memperbaiki sifat beton dengan pendekatan teori sebagai berikut:

a. *Composit material concept*

Merupakan konsep pendekatan untuk memperkirakan kuat tarik dan lentur beton, dengan asumsi bahwa bahan penyusun beton saling melekat sempurna. Hal ini dilakukan dengan memperkirakan kekuatan material komposit saat timbul retak pertama (*first crack strength*).

b. *Spacing concept*

Teori ini menyatakan bahwa agar beton lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar maka dilakukan pendekatan jarak antar serat dalam campuran beton. Kerja serat akan lebih efektif jika diletakkan berjajar dan seragam tidak tumpang tindih (*overlapping*). Pada prakteknya, penyebaran serat di dalam adukan beton saling menindih dan sulit untuk dibuat beraturan, sehingga volume efektif potongan serat hanya dapat dianggap 41% dari volume sebenarnya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada beton serat adalah:

a. Kelecekan adukan beton

Kelecekan adukan beton berpengaruh besar terhadap *workability* campuran beton segar. Penambahan serat ke campuran beton akan menurunkan kelecekan campuran, yang dipengaruhi oleh:

1. Aspek rasio serat (*fiber aspect ratio*), yaitu nilai banding antara panjang dengan diameter serat. Batas maksimal aspek rasio serat yang masih diperbolehkan agar pengadukan dapat secara mudah dilakukan adalah $l_f/d_f < 100$ dengan l_f dan d_f adalah panjang dan diameter serat. Aspek rasio yang tinggi dapat menyebabkan kecenderungan serat menggumpal (*balling effect*) atau berkumpul pada satu titik dan sulit menyebar merata (Sudarmoko, 1991).
2. Presentase jumlah serat yang ditambahkan pada adukan beton segarnya (*fiber volume fraction*). Berdasarkan hasil penelitiannya Firman (1998) membuktikan bahwa penambahan jumlah serat bambu ke dalam campuran beton segar menurunkan kelecekan beton, bervariasi tergantung dari prosentase jumlah serat yang ditambahkan. Semakin tinggi prosentase jumlah serat, semakin berkurang nilai kelecekan dan sifat dapat dikerjakan beton segarnya.

b. Teknik pencampuran serat (*fiber-dispersion*)

Teknik pencampuran serat merupakan teknik dan upaya pencampuran serat yang ditambahkan ke dalam adukan beton segar agar serat dapat tersebar secara merata. Salah satu cara agar serat dapat lebih tersebar merata adalah dengan memperkecil ukuran maksimum agregat. ACI *Committee* (1982) mengisyaratkan untuk memudahkan pengadukan dan tersedianya ruang untuk serat maka ukuran maksimum agregat sebesar 19 mm. Sedangkan teknik pencampurannya dilakukan dengan menaburkan serat sedikit demi sedikit ke dalam adukan beton yang sudah tercampur saat proses pengadukan masih berlangsung.

2.7 Batu *Pumice*

Batu *pumice* terbentuk ketika lava cair yang kaya SiO_2 dari letusan gunung berapi mendingin. Densitas dari batu *pumice* rendah disebabkan adanya gelembung gas di lava cair yang terjebak saat pendinginan terjadi. Rongga-rongganya sangat kecil dan saling terhubung. (Chandra, 2002)

Batu *pumice* merupakan jenis batuan yang berwarna terang dan mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas, biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batu *pumice* memiliki beberapa kegunaan antara lain sebagai bahan toilet/sabun tangan, sebagai bahan untuk mengasah, sebagai bahan plester, filter. Batu *pumice* juga digunakan untuk membuat genteng dan bahan tooth paster, cat, abrasif, powder, aspal filter, rubber filter. Batu apung banyak dijumpai di sekitar daerah gunung api.

Batu apung memiliki pori-pori yang mengakibatkan tingkat penyerapan air pada batu apung tergolong tinggi. Tingkat penyerapan air pada batu apung tergantung pada porositas dan ukurannya, karena densitas rendah dan kekuatan yang relatif kuat, batu apung sendiri sering digunakan dalam pembuatan beton ringan struktural. Kekuatan batu *pumice* sangat lemah dan berpori, hingga kuat dan kurang berpori. Absorpsi pada batu *pumice* umumnya tinggi tergantung porositas dan ukurannya. Sifat fisik batu apung ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Sifat Fisik Batu *Pumice*

Unsur	Kapasitas
Bobot isi ruang	480-960 kg/cm ³
Peresapan air	16,67%
Berat Jenis	0,8 gr/cm ³
Hantaran Suara	Rendah
Ratio kuat tekan terhadap beban	Tinggi
Konduktivitas terhadap api	Rendah
Ketahanan terhadap api	s/d 6 jam

Sumber: Batuan dan Mineral, 1987

2.8 Slump Test

Nilai slump adalah nilai yang diperoleh dari hasil uji slump dengan cara beton segar diisikan ke dalam suatu corong baja berupa kerucut terpancung, kemudian bejana ditarik ke atas sehingga beton segar meleleh ke bawah.

Besar penurunan permukaan beton segar diukur, dan disebut nilai slump. Semakin besar nilai slump, maka beton segar semakin encer dan ini berarti semakin mudah untuk dikerjakan.

Penetapan nilai slump memperhatikan beberapa faktor berikut:

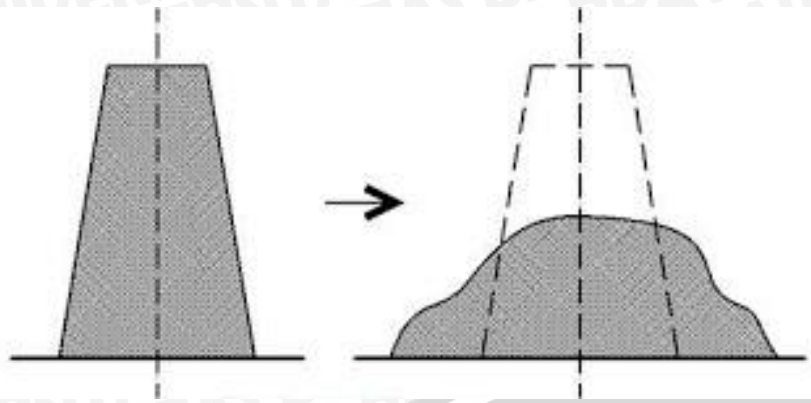
1. Cara pengangkutan adukan beton
2. Cara penuangan adukan beton
3. Cara pemadatan beton segar
4. Jenis struktur yang dibuat

Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slump yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (*triller*) dapat dilakukan dengan nilai slump yang sedikit lebih kecil. Sebagai petunjuk awal penetapan nilai slump, dapat mengacu pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Petunjuk awal penetapan nilai slump*

Pemakaian Beton (Berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Maks (cm)	Min (cm)
Dinding, Pelat Pondasi dan Pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, Caisson, dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, Balok, Kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal (beton massa)	7,5	2,5

Sumber : <http://belajarsipil.blogspot.com>.



Gambar 2.1 Slump shear

Sumber : <http://belajarsipil.blogspot.com>

2.9 Bambu

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 Bamboideae anggota sub familia rumput, memiliki keanekaragaman jenis bambu di dunia sekitar 1250-1500 jenis sedangkan Indonesia memiliki hanya 10% sekitar 154 jenis bambu. Bambu merupakan sumber bahan bangunan yang dapat diperbaharui dan banyak tersedia di Indonesia. Orang Indonesia sudah lama memanfaatkan bambu untuk bangunan rumah, perabot, alat pertanian, kerajinan, alat musik, dan makanan. Namun, bambu belum menjadi prioritas pengembangan dan masih dilihat sebagai “bahan milik kaum miskin yang cepat rusak”. 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. Diameter dan ukuran panjang batang tergantung dari jenis bambu yang dapat tumbuh hampir di seluruh daerah Indonesia. Secara botani bambu adalah jenis rumput-rumputan monokotil yang tumbuh liar merumpun dan meraksasa, sangat mudah menyesuaikan dengan cuaca maupun kondisi tanah yang ada, berkembang biak sangat cepat dengan rimpang pada akar yang disebut rebung. Secara individu bambu terdiri dari akar yang terletak di dalam tanah dan batang yang terdapat cabang, ranting dan daun dimana batang, cabang maupun ranting berupa pipa berongga dengan ujung-ujungnya semakin meruncing ke pucuk, beruas-ruas yang dipisahkan oleh diafragma dengan ketebalan dinding batang dan jarak ruas tergantung pada jenis bambu (Suseno, 2010).

Kandungan selulosa yang tinggi pada bambu menyebabkan bambu rawan terhadap serang rayap. Bambu juga memiliki kandungan pati dan gula yang tinggi menyebabkan

ketahanan bambu terhadap serbuk kayu kurang. Maka harus dilakukan tindakan-tindakan tertentu untuk mengurangi kandungan pati dari bambu agar bambu dapat tahan lama paling tidak bertahan lebih dari 15 tahun.

Bambu termasuk famili rumput – rumputan yang banyak terdapat di daerah tropis dan subtropik di Asia termasuk Indonesia. Batang bambu umumnya berbentuk tabung atau silinder dengan diameter 1 cm sampai 25 cm sehingga momen inersianya besar tetapi ringan. Silinder batang bambu tersebut dipisah – pisahkan oleh nodia – nodia atau ruas – ruas yaitu diafragma yang arahnya transversal. Dengan adanya ruas – ruas, maka bahaya tekuk lokal menjadi berkurang (Ghavami, 2004).

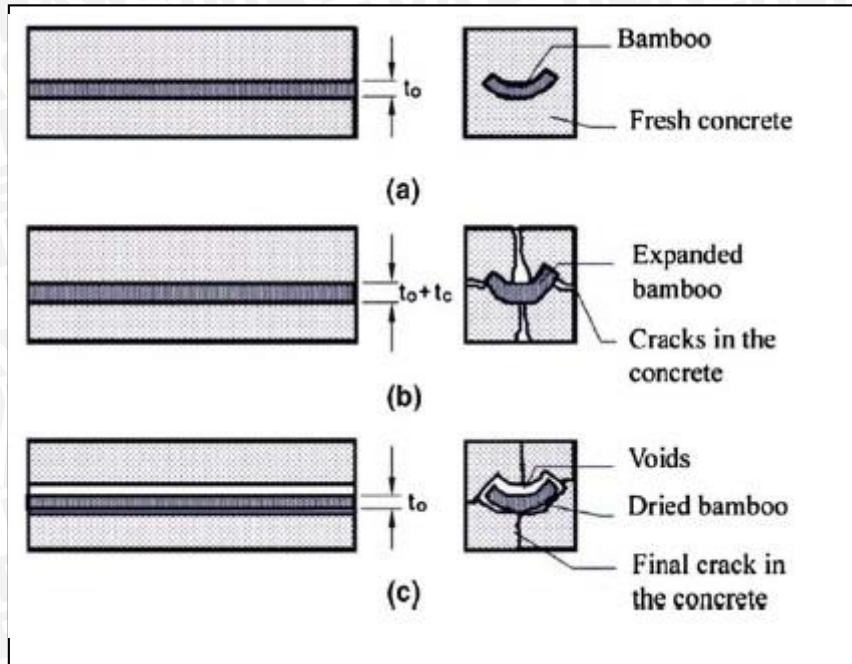
Bambu memiliki kekuatan yang bervariasi pada setiap bagiannya. Tegangan terendah terjadi pada bagian pangkal, dan tegangan tertinggi pada bagian ujung. Hal ini telah dibuktikan dalam suatu hasil penelitian yang menyebutkan bahwa kekuatan bambu tidak banyak berubah pada bagian pangkal sampai dengan $\pm \frac{1}{2}$ tinggi bambu (Duff, 1941).

Dilihat dari struktur anatominya, bambu mengandung banyak serat dan pembuluh yang arahnya sejajar mengikuti arah memanjang bambu, sehingga kekuatan tarik dan kekuatan tekan sejajar serat cukup tinggi. Secara umum ada 40% - 70% serat yang terkonsentrasi pada bagian luar dan 15% - 30% serat di bagian dalam batang. Serat – serat tersebut terarah sepanjang sumbu batang bambu dengan diameter 0,7 mm hingga 0,8 mm, tergantung pada spesies dan lokasi tampang melintang.

Sejak tahun 1979 beberapa program riset telah dilakukan. Hasil penelitian dan variabel – variabel yang diteliti, salah satunya di Jurusan Teknik Sipil pada Pontificia Universidade Rio De Janeiro (PUCJR) dapat dipergunakan untuk memecahkan beberapa masalah yang terkait dalam pemakaian bambu sebagai elemen struktur seperti beton bertulang, bambu, dan struktur ruas bambu.

Bambu memiliki kelemahan berupa sifat yang mudah diserang serangga, namun hal ini dapat diatasi dengan melakukan pengawetan sebelum bambu digunakan, misalnya dengan merendam bambu dalam air (Ghavami, 2004). Selain itu bambu juga mempunyai sifat kembang susut, bambu dapat mekar jika menyerap air dan susut kembali jika mengering. Hal ini dianggap sebagai salah satu kelemahan bambu jika digunakan sebagai bahan pengganti tulangan beton karena bambu cenderung menyerap air beton segar dan mengembang seperti yang terlihat pada gambar 2.2 (a), akibat bambu yang mengembang beton menjadi terdorong terlihat pada gambar 2.2 (b), dan ketika menyusut yaitu pada masa

pengawetan (curing) sehingga meninggalkan rongga udara antara beton dan bambu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 (c). Akibat kembang susut tersebut, bambu berpotensi mengakibatkan retak – retak selama masa pakai (service life), sehingga penggunaannya masih bersifat sangat terbatas dan belum menjadi alternatif pilihan bagi banyak orang.



Gambar 2.2 Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air

Sumber : Sumber: Ghavami (2004).

- (a) Bambu dalam beton segar
- (b) Bambu menyerap air dan mengembang pada masa perawatan mortar
- (c) Bambu mengerut setelah masa perawatan beton

Kelemahan ini dapat diatasi dengan menutup pori – pori bambu dengan lapisan kedap air. Dengan cara ini, maka pori – pori bambu akan tertutup dan tidak menyerap air beton segar sehingga tidak menyebabkan kembang susut. Karena tidak terjadi proses kembang susut maka rongga antara bambu dan beton juga tidak akan terbentuk dan bambu dapat merekat lebih baik dengan beton.

2.9.1 Sifat Bahan Bambu

Semua sifat kekuatan bambu sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang terdapat dalam bambu. Liese (dalam Pathurrahman, 1998) menyatakan bahwa kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Sifat sifat kekuatan bambu akan meningkat seiring dengan menurunnya kadar air dan berkorelasi positif dengan berat jenis.

Rata – rata kadar air pada bambu dengan kelembapan udara 70% adalah 12%. Berat jenis berkisar 0,55 – 0,71 dan berat isi rata rata sekitar 700 kg/m³. Konduktivitas panas batang bambu adalah 0,17 W/m.OC (Suseno, 2010). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Morisco (1999) diperoleh kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 *Tabel tegangan batas dan tegangan Ijin Bambu.*

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/m ²)	Tegangan Ijin (kg/m ²)
Tarik	981 - 3920	294,2
Lentur	686 – 2940	98,07
Tekan	245 – 981	78,45
E Tarik	98070 - 294200	196100

Sumber : Morisco, 1999

2.9.2 Bambu sebagai Tulangan Beton

Penggunaan bambu sebagai tulangan pada beton merupakan alternatif pengganti tulangan baja dan telah banyak diteliti oleh peneliti-peneliti terdahulu. Bambu memiliki kuat tarik yang cukup tinggi sehingga cocok jika dikombinasikan dengan beton yang memiliki kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Modulus elastisitas bambu relatif kecil berkisar 1/15 modulus elastisitas baja. 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 2.5, Tabel 2.6, dan Gambar 2.3.

Tabel 2.5 *Tegangan Tarik Bambu Oven*

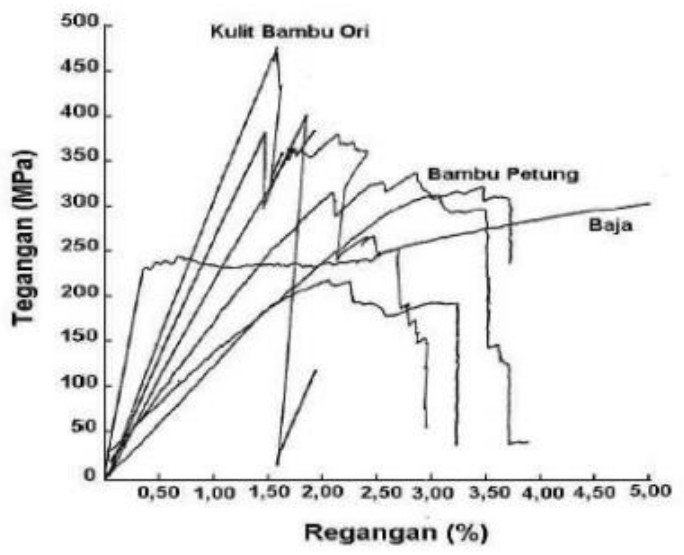
Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Sumber: Morisco, 1999

Tabel 2.6 *Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu*

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Izin (kg/cm ²)
Tarik	981-3920	294.20
Lentur	686-2940	98.07
Tekan	245-981	78.45
E /tarik	196.1×10^3	196.1×10^3

Sumber: Morisco, 1999



Gambar 2.3 Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber: Morisco, 1999.

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. 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.

2.9.3 Zat Pelapis Bambu

Lapisan kedap air dapat berupa melamin, sikadur, cat, atau vernis untuk mengurangi susut pada bambu atau menghilangkannya sama sekali. Pada penelitian ini lapisan kedap air yang digunakan pada bambu adalah cat, dengan didasarkan atas beberapa alasan yaitu daya lekat yang cukup baik, mudah dalam mengaplikasikan, dapat menutup permukaan dengan baik, dapat membentuk kohesif *film* (bagian cat yang menempel) dan tahan terhadap cuaca. Sifat fisik bambu (Petung) yang dilapisi cat dapat meningkat hingga 1,0 MPa (Irianta, 2009).

Kekurangan dari penggunaan cat yaitu permukaan bambu menjadi licin sehingga perlu diantisipasi dan salah satu solusinya adalah dengan menaburkan lapisan pasir pada permukaan tulangan yang telah dilapisi cat. Dengan pemberian lapisan pasir pada bambu, kuat lekat yang dihasilkan dan kekasaran permukaan tulangan akan meningkat. Jadi cat disini memiliki fungsi ganda yaitu sebagai bahan pelekats pasir dan sebagai lapisan kedap air pada bambu.

2.9.4 Uji *Pull-Out* Tulangan Bambu

Perhitungan kekuatan lekat tulangan yang dihitung berdasarkan pada uji tegangan *pull-out* kurang dari kekuatan lekat tulangan yang terjadi pada balok. Uji kekuatan lekatan *pull-out* seharusnya disesuaikan untuk menghitung kekuatan lekat nyata tulangan pada balok.

Hasil uji *pull – out* adalah berupa gaya friksi maksimum (f_y). Gaya friksi dibagi dengan luas friksi menghasilkan tegangan lekat:

$$\mu = \frac{P}{4.d.l_d} \quad (2-2)$$

dengan : μ = tegangan lekat; P = gaya *pull-out* ; d = tebal dan lebar tulangan (dimensi bambu persegi) ; l_d = panjang penyaluran. Rata – rata kekuatan lekat bambu pada beton adalah 0,41 MPa (Nindyawati, 2014).

Tabel 2.7 *Pul- out test*

P	Dimensi	A	P/A
(N)	(cm x cm)	(mm ²)	(N/mm ²)
19800	1 x 1.1	10	180
15300	0.9 x 0.9	81	188
17100	1.0 x 0.9	90	190
18800	1.2 x 0.8	108	174
	rata-rata		180

Sumber: Nindyawati, 2014

2.10 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama didalam penentuan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan tekan. (Wang dkk, 1986)

Kekuatan tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton ini menggambarkan mutu dari sebuah struktur. Kekuatan maksimal beton terletak pada kuat tekan yang tinggi, beton juga menghasilkan kuat tarik tetapi sangatlah kecil. Apabila suatu beton memiliki kuat tekan yang tinggi, maka sifat-sifat lain dari beton tersebut juga baik. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari benda uji. Pengujian ini dialukan pada benda uji silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm pada saat berumur 28 hari. Kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2-3)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)

P = beban yang diberikan (N)

A = luas penampang yang tertekan (mm²)

Kekuatan beton paling umum digunakan adalah sekitar 3000 sampai 6000 psi, dan beton komersial dengan agregat biasa, kekuatannya sekitar 300 sampai 10000 psi (Nawy, 1998). Nilai kuat tekan beton dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut antara lain adalah faktor

air semen, sifat dan kualitas material penyusun, perbandingan komposisi material, *slump*, cara pengerjaan dan perawatan beton.

2.11 Balok

Balok beton adalah elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser. Pada umumnya, balok merupakan elemen struktur yang menopang pelat dan ditumpu oleh kolom. Konstruksi balok umumnya merupakan balok bertulang yang sudah tidak asing lagi dalam bidang teknik sipil. Balok beton dapat retak ketika menahan momen lentur. Saat serat bawah mengalami tarik (momen positif), beton sebenarnya mampu menahan tegangan tarik tersebut, akan tetapi seperti yang kita ketahui bahwa kuat tarik beton sangat kecil.

Jenis balok beton bertulang yang umum dipakai untuk elemen struktur adalah balok tinggi. Suatu balok beton dapat dikatakan sebagai balok tinggi apabila memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Lentur : perbandingan bentang bersih dan tinggi efektif (l_n/d) $> 2/5$ (balok menerus) & $> 4/5$ (balok sederhana)
2. Geser : perbandingan bentang bersih & tinggi efektif (l_n/d) < 5 .

Dalam beberapa kasus, retak yang terjadi pada balok tinggi diakibatkan keadaan geser. Oleh karena itu, selain dibutuhkan penulangan geser vertikal di sepanjang bentang, diperlukan juga penulangan horizontal di seluruh tinggi balok (Nawi,1998).

2.12 Kekakuan

Kekakuan pada struktur merupakan suatu hal yang penting. Kekakuan pada struktur diperlukan agar terjadinya lendutan dapat dibatasi dan struktur menjadi stabil. Kekakuan merupakan gaya yang diperlukan untuk menghasilkan *unit displacement*. Kekakuan didapatkan dari hasil beban dibagi dengan lendutan atau dengan kata lain sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan lendutan merupakan nilai kekakuan.

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad (2-4)$$

dimana :

K = kekakuan

P = Gaya

Δ = Lendutan

2.13 Lentur pada Balok Beton Bertulang

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban lain seperti beban angin (berarah horizontal) ataupun beban karena susut dan beban yang bekerja karena perubahan temperatur akan menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur.

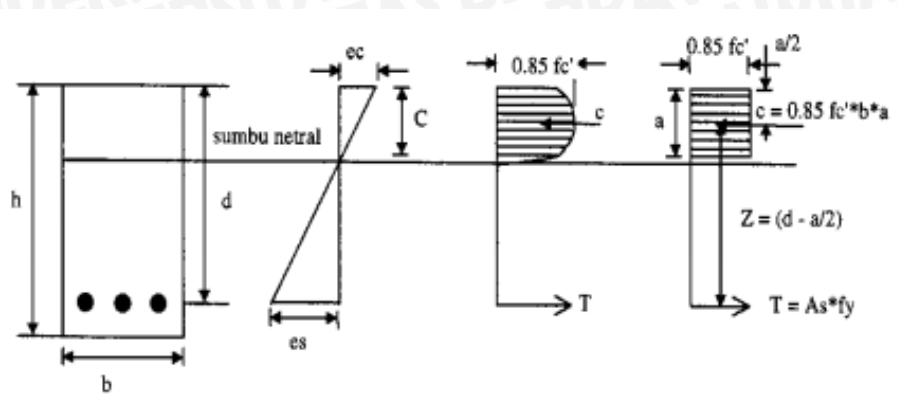
Menurut Nawy (1998), apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban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

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur, kecuali untuk komponen struktur yang khusus seperti pondasi.

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

- a. 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.
- b. Regangan pada baja dan beton disekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja
- c. 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 penampang beton

Untuk mencari nilai momen nominal penampang cukup mengkalikan gaya terhadap titik yang ditinjau.

$$Mn = Cc \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (2-5)$$

$$= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (2-6)$$

atau

$$Mn = T \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (2-7)$$

$$= As \cdot fy \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (2-8)$$

2.14 Perilaku Lendutan

Defleksi atau lendutan adalah perpindahan dalam arah y dari sembarang titik disumbu balok. Balok yang didesain dengan baik tidak hanya mampu memikul beban yang akan diterimanya tetapi juga harus mampu mengatasi terjadinya defleksi sampai batas yang disyaratkan.

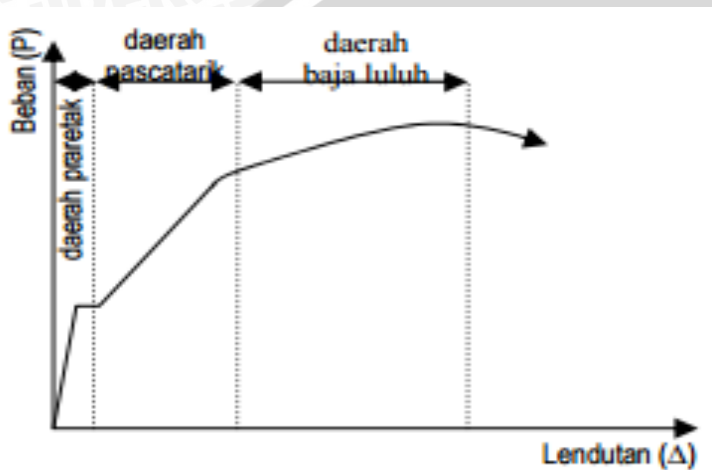
Ada beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk mencari defleksi pada balok yaitu sebagai berikut :

1. Metode Integrasi Ganda.
2. Metode Momen Area
3. Metode Fungsi Singularitas
4. Metode Energi Elastis

Metode integrasi ganda sangat baik digunakan untuk mengetahui defleksi sepanjang bentang sekaligus. Sedangkan metode momen area sangat baik dipergunakan untuk mengetahui lendutan dalam satu tempat saja. Asumsi yang dipergunakan untuk

menyelesaikan persoalan tersebut hanyalah defleksi yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja tegak-lurus terhadap sumbu balok, defleksi yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan panjang baloknya, dan irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap berupa bidang datar walaupun terdeformasi.

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 trilinier seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hubungan Beban-Lendutan pada Balok

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

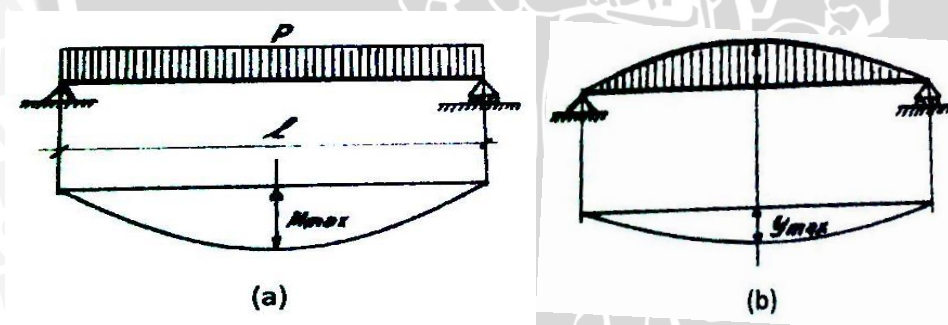
1. Daerah I: Taraf Pracetak, Balok belum terjadi retak akibat pembebanan. Segmen praretak ini berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Kekakuan lentur EI dari balok dapat diestimasi dengan modulus young E_c dari beton dan momen inersia penampang sebelum retak. Daerah pracetak berhenti pada saat mulainya retak lentur pertama, tegangan beton mencapai kekuatan modulus *rupture*-nya (f_r).
2. Daerah II: Taraf Beban PascaTarik (Pascaretak). 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. Kekakuan lentur penampangnya berkurang dan akibatnya kurva beban-defleksi pada daerah ini semakin landai dibandingkan daerah taraf praretak. 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.

2.14.1 Perhitungan Defleksi

Defleksi pada suatu konstruksi batang dapat ditentukan sebagai bidang diagram momen oleh beban diagram momen M_0 yang direduksi dengan $-1/EI$. Garis elastis menjadi garis sisi diagram momen $\bar{M}$ itu.. Pada Gambar 2.6 dijelaskan bagaimana momen sangat berpengaruh pada defleksi.



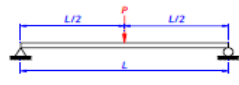
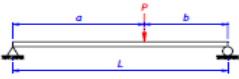
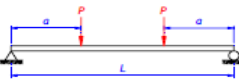
Gambar 2.6 Defleksi balok tunggal dengan beban merata
Sumber : Frick (1993)

- (a) Bidang momen akibat beban merata
- (b) Bidang Momen yang menjadi beban untuk memperoleh grafik defleksi

Pada Gambar 2.5 (a) terlihat bidang momen akibat beban merata pada balok sederhana. Diagram momen yang ada pada gambar 2.6 (a) dibebankan pada balok direduksi $-1/EI$ seperti pada gambar 2.6 (b) sehingga diperoleh grafik defleksi pada balok sederhana dengan beban merata. Dapat disimpulkan dari gambar 2.6 hubungan antara beban dan defleksi,

dimana beban mempengaruhi diagram momen dan nilai dari momen akan mempengaruhi defleksi (Frick, 2003).

Tabel 2.8 Rumus defleksi.

Struktur & Pembebanan	Momen Maksimum	Defleksi Maksimum	Lokasi Maksimum
	$\frac{1}{4}PL$	$\frac{PL^3}{48EI}$	$\frac{1}{2}L$
	$\frac{Pab}{L}$	$a \geq b \rightarrow \frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EI}$	$a \geq b \rightarrow \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$
	Pa	$\frac{Pa}{24EI}(3L^2 - 4a^2)$	$\frac{1}{2}L$

Sumber : <http://only-05.blogspot.com/2012/04/momen-dan-defleksi-maksimum-struktur.html>.

2.15 Berat Volume

Berat volume merupakan rasio perbandingan antara berat dan volume. Berat volume balok (kg/m^3) adalah rasio perbandingan antara berat balok (kg) dengan volume balok (m^3).

Rumus perhitungan berat volume adalah sebagai berikut:

$$\gamma = w/V \quad (2-9)$$

Dimana :

γ = berat volume balok (kg/m^3)

w = berat balok (kg)

V = volume balok (m^3)

Kemudian volume balok didapat dari rumus:

$$V = p \cdot l \cdot t \quad (2-10)$$

Dimana :

V = volume balok (m^3)

p = panjang balok (m)

l = lebar balok (m)

t = tinggi balok (m)

2.16 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari tinjauan pustaka di atas, maka dapat diambil hipotesis penelitian yaitu : Ada pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur beton bertulang bambu dengan agregat kasar batu *pumice*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Waktu penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun 2015 – 2016.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Alat

- a. Mesin pencampur beton (Molen)
- b. Meteran
- c. Tang
- d. Gergaji kayu
- e. Bekisting
- f. Timbangan
- g. Vibrator
- h. Loading frame
- i. Tumpuan
- j. Load cell
- k. LVDT
- l. Alat penguji slump beton
- m. Sekop
- n. Hidraulic jack
- o. Alat tulis
- p. Kuas
- q. Ember
- r. Talam

2. Bahan

- a. Semen Portland (PC)
- b. Agregat halus berupa pasir



- c. Agregat kasar berupa batu pumice
- d. Tulangan bambu
- e. Baja tulangan polos $\varnothing 6$ mm sebagai sengkang
- f. Kawat bendrat
- g. Cat kayu
- h. Serat bambu
- i. Air bersih

3.3 Analisa Bahan

3.3.1 Semen

Semen yang digunakan adalah jenis semen Portland Pozzolan Cement (PPC) tanpa dilakukan pengujian khusus.

3.3.2 Air

Air yang digunakan berasal dari air bersih di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya. Tidak ada pengajuan khusus mengenai air yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3.3.3 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa batu *pumice* yang didapat dari Lombok dengan ukuran 5 mm – 20 mm. Batu *pumice* dilapisi dengan cat agar tidak menyerap air saat dicampur dalam adukan beton.

3.3.4 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari Lumajang yang didapat di pasaran dan dijaga dari kotoran organik, lumpur dan sampah.

3.3.5 Tulangan Bambu

Tulangan bambu yang digunakan adalah bambu jenis bambu ori yang dijual di pasaran dan dilapisi cat kayu serta dilumuri oleh pasir untuk mencegah sifat higroskopis yang dimiliki oleh bambu. Tidak dilakukan pengujian khusus terhadap tulangan bambu yang digunakan.

3.3.6 Serat Bambu

Serat bambu yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis bambu ori yang diperoleh dari pabrik produsen tusuk sate di daerah Cemoro Kandang Kota Malang. Serat yang digunakan memiliki panjang bervariasi. Serat dilapisi cat beton dan dilumuri oleh pasir untuk

mencegah sifat higroskopis dan menjaga agar serat bambu tidak melayang saat dicampur dalam adukan beton.

3.4 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*) adalah variabel yang perubahannya bebas dilakukan peneliti. Pada penelitian ini variabel bebasnya adalah penambahan serat bambu sebesar 40 gr dan 150 gram
2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*) adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kuat lentur.

3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan pada skripsi ini menggunakan metode eksperimental dimana peneliti melakukan suatu percobaan untuk memperoleh suatu hasil atau data yang dibutuhkan untuk mengetahui pengaruh perlakuan tertentu dalam suatu kondisi yang diinginkan. Penelitian ini akan dilaksanakan di dalam Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah balok bertulang bambu agregat batu pumice dengan penambahan serat bambu 40 gr dan 150 gram/volume benda uji balok. Pemilihan kadar penambahan serat bambu ini didasarkan pada kemampuan untuk dilaksanakan atau dikerjakan (*workability*). Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan kadar maksimal sebanyak 150 gr/volume benda uji balok. Benda uji akan dilakukan pembebanan dengan beban vertikal statik saat beton telah mencapai umur 28 hari.

Pelaksanaan penelitian ini meliputi 2 analisis diantaranya sebagai berikut :

1. Analisis teoritis yaitu menggunakan literatur atau teori yang ada untuk memprediksi beban maksimum dan lendutan yang terjadi sehingga diharapkan menghasilkan nilai-nilai teoritis berdasarkan tinjauan pustaka.
2. Analisis data eksperimental, yang mana data hasil pengujian benda uji digunakan untuk mendapatkan suatu hasil yang nantinya berguna untuk menyusun kesimpulan pada analisa statistik tentang pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok bertulang bambu dengan agregat kasar batu pumice.

3.6 Benda Uji dan Setting

Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah balok beton bertulangan bambu berukuran 15 cm x 20 cm x 160 cm untuk masing-masing benda uji dengan variasi sampel sebagai berikut :

- A = Kadar serat bambu 40 gr dan 150 gr / volume benda uji balok
- B = Komposisi semen : pasir : agregat 1 : 2 : 1 dan 1 : 2,5 : 1,5
- C = Rasio tulangan bambu 1% dan 1,5 %

Benda uji dibuat berdasarkan perhitungan sampel dengan percobaan faktorial sebagian. Rancangan ini memiliki keuntungan diantaranya yaitu lebih efisien dalam menggunakan sumber-sumber yang ada. Selain itu percobaan ini dapat mengambil separuh, seperempat bahkan seperdelapan dari total keseluruhan rancangan faktorial lengkap.

Sebagai kontrol, dibuat juga benda uji tanpa ada penambahan serat dengan komposisi semen : pasir : agregat batu *pumice* 1 : 2,5 : 2,5 dan rasio tulangan bambu 1%. Untuk pembandingan, beton normal juga dibuat dalam penelitian ini dengan menggunakan agregat batu pecah biasa dan tulangan baja rasio 1% dan mutu yang direncanakan sebesar 16 Mpa. Kedua balok ini tidak masuk dalam rancangan faktorial sebagian dan hanya digunakan sebagai pembandingan saja. Selanjutnya balok beton dengan agregat *pumice* yang tidak ditambahkan serat disebut dengan benda uji A₀B₂C₁, sedangkan beton yang menggunakan agregat batu pecah dan tulangan baja disebut dengan benda uji Beton Normal.

Penelitian ini menggunakan rancangan faktorial sebagian (2^{k-1}) yaitu rancangan dalam 3 faktor dan masing-masing memiliki dua taraf. Jadi rancangan ini memerlukan $2^3 = 8$ amatan apabila menggunakan faktorial lengkap, dan $2^{3-1} = 4$ amatan bila rancangan tersebut dijadikan rancangan faktorial sebagian. Tentu saja beberapa interaksi akan diabaikan. Pembuatan dimulai dengan pemilihan kontras penentu yang betul-betul akan dikorbankan. (Walpole dan Myers, 1995).

Rancangan faktorial sebagian 2^{3-1} dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 *Variabel Rancangan Faktorial Sebagian*

FAKTOR		KETERANGAN	
A ₁	Kadar serat	40 gr	-
A ₂	Kadar serat	150 gr	+
B ₁	Komposisi semen dan agregat	1 : 2 : 1	-
B ₂	Komposisi semen dan agregat	1 : 2,5 : 1,5	+
C ₁	Rasio tulangan	1%	-
C ₂	Rasio tulangan	1,5%	+

Keterangan :

- 1 = Taraf rendah (-)

- 2 = Taraf tinggi (+)

Tabel 3.2 *Rancangan Faktorial Sebagian*

Variabel	A ₁		A ₂	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
C ₁	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₂ C ₁	A ₂ B ₁ C ₁	A ₂ B ₂ C ₁
C ₂	A ₁ B ₁ C ₂	A ₁ B ₂ C ₂	A ₂ B ₁ C ₂	A ₂ B ₂ C ₂

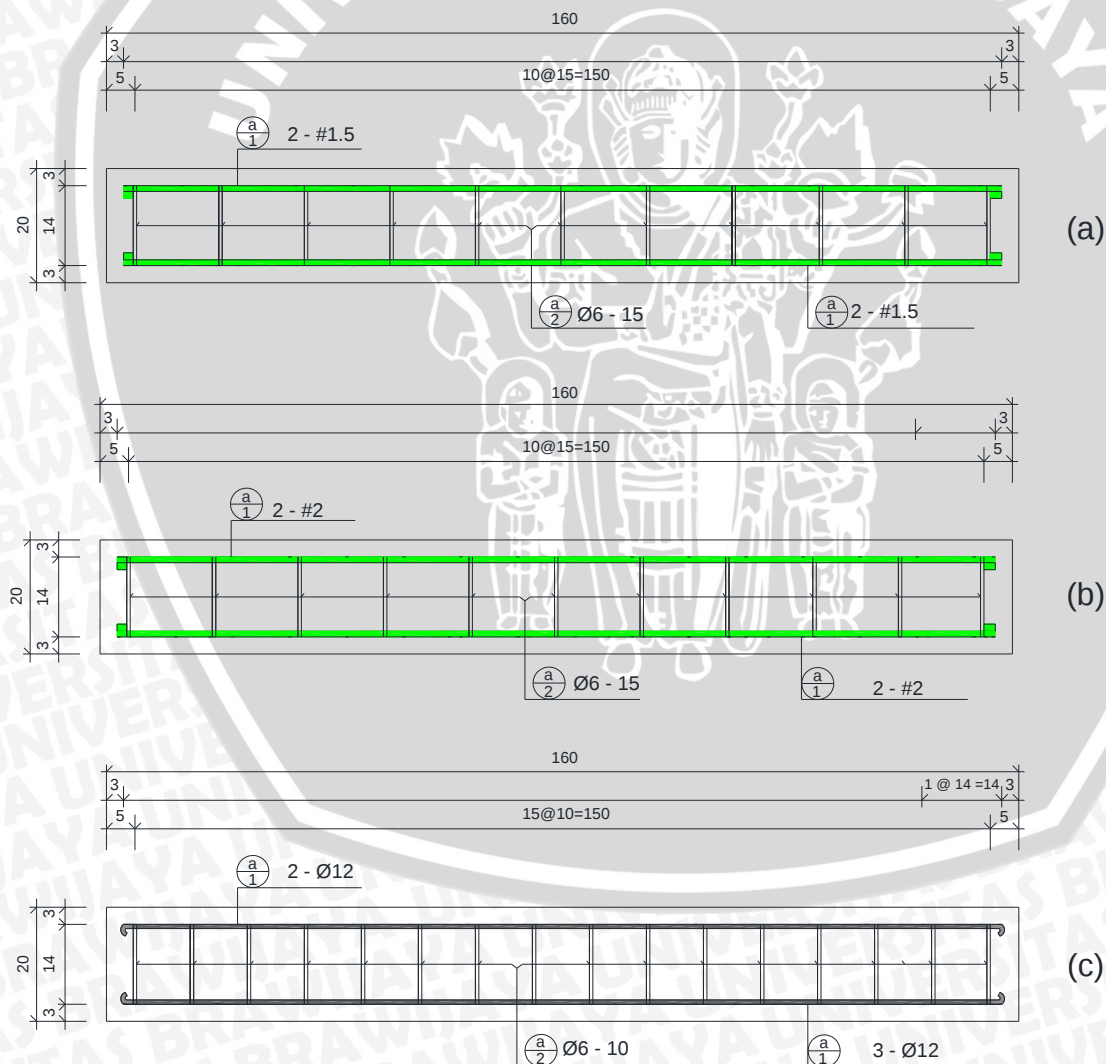
Yang dipilih untuk menjadi rancangan percobaan dalam penelitian ini ditandai dengan warna biru dengan rincian sebagai berikut :

1. Tiga buah balok beton berukuran 160 x 15 x 20 cm bertulang bambu dengan rasio tulangan 1% dan campuran semen : pasir : batu pumice yaitu 1 : 2 : 1 serta tambahan serat bambu 40 gram/volume benda uji balok (A₁B₁C₁).
2. Tiga buah balok beton berukuran 160 x 15 x 20 cm bertulang bambu dengan rasio tulangan 1,5% dan campuran semen : pasir : batu pumice yaitu 1 : 2,5 : 1,5 serta tambahan serat bambu 150 gram/volume benda uji balok (A₁B₂C₂).
3. Tiga buah balok beton berukuran 160 x 15 x 20 cm bertulang bambu dengan rasio tulangan 1,5% dan campuran semen : pasir : batu pumice yaitu 1 : 2 : 1 serta tambahan serat bambu 150 gram/volume benda uji balok (A₂B₁C₂).
4. Tiga buah balok beton berukuran 160 x 15 x 20 cm bertulang bambu dengan rasio tulangan 1% dan campuran semen : pasir : batu pumice yaitu 1 : 2,5 : 1,5 serta tambahan serat bambu 150 gram/volume benda uji balok (A₂B₂C₁).

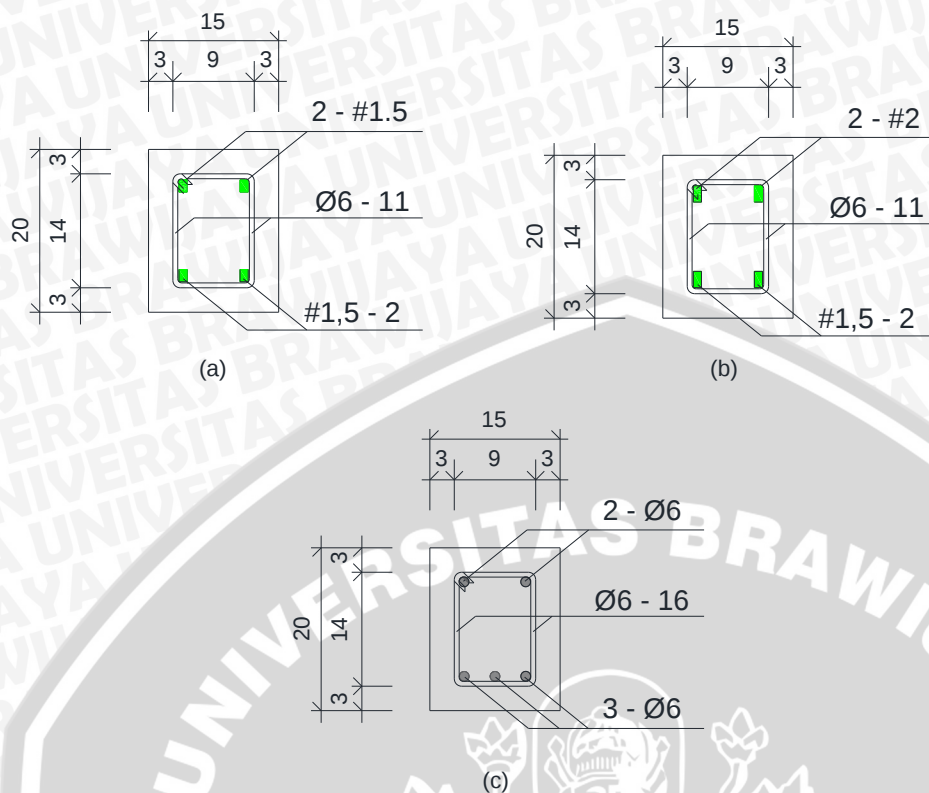
Selain 12 benda uji di atas juga dibuat benda uji *pull-out* untuk data pendukung, dengan ketentuan sebagai berikut :

1. 2 balok *pull-out* yang menggunakan tulangan bambu dengan rasio sebesar 1%, perbandingan semen : pasir : batu pumice yaitu 1 : 2 : 1 dan tambahan serat bambu sebanyak 8,5 gram.

2. 2 balok *pull-out* yang menggunakan tulangan bambu dengan rasio sebesar 1%, perbandingan semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2 : 1 dan tambahan serat bambu sebanyak 32 gram.
3. 2 balok *pull-out* yang menggunakan tulangan bambu dengan rasio sebesar 1%, perbandingan semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2,5 : 1,5 dan tambahan serat bambu sebanyak 8.5 gram.
4. 2 balok *pull-out* yang menggunakan tulangan bambu dengan rasio sebesar 1%, perbandingan semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2,5 : 1,5 dan tambahan serat bambu sebanyak 32 gram.
5. 2 balok *pull-out* yang menggunakan tulangan bambu dengan rasio sebesar 1%, perbandingan semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2,5 : 1,5 dan tanpa ada tambahan serat bambu.

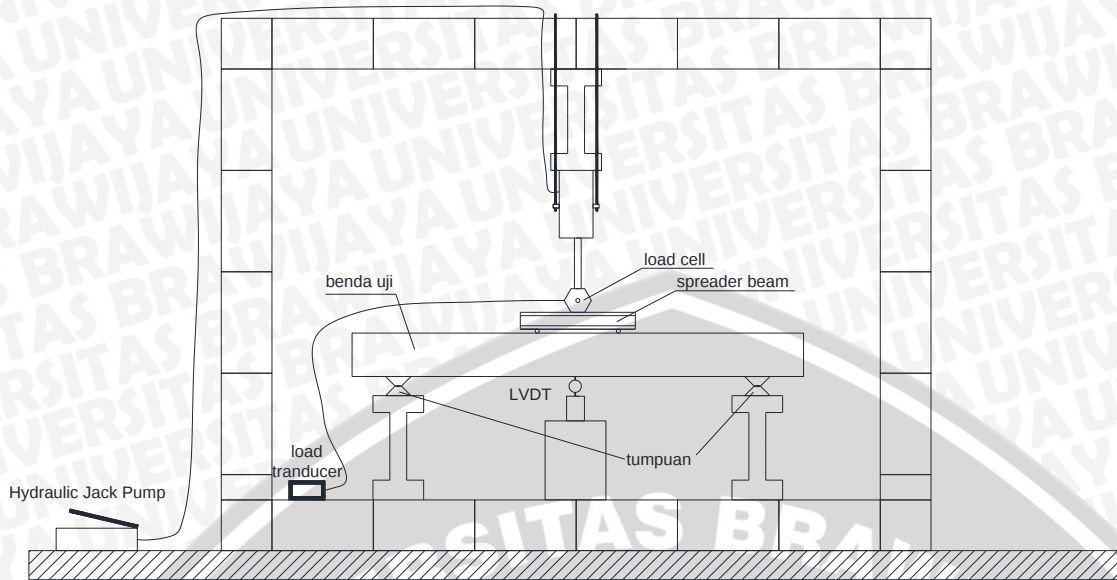


Gambar 3.1 Potongan memanjang benda uji balok tulangan bambu rasio 1% (a), 2% (b), dan balok tulangan baja rasio 1% (c)



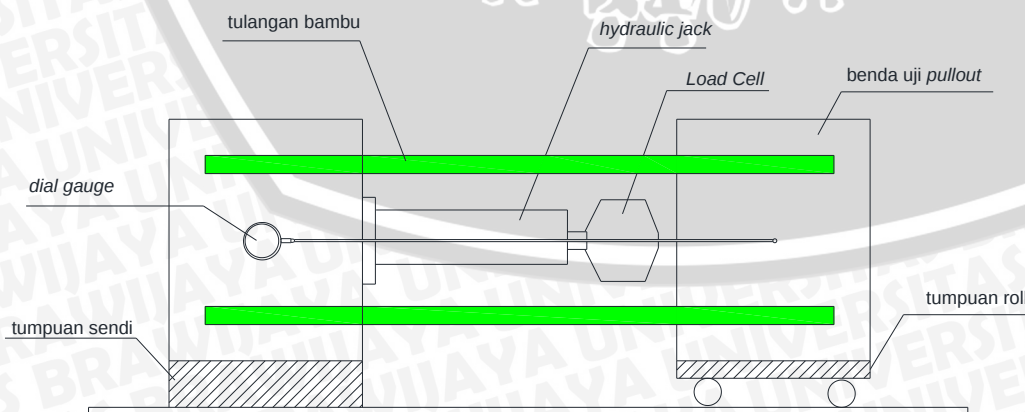
Gambar 3.2 Potongan melintang benda uji balok dengan tulangan bambu rasio 1% (a), 2% (b) dan balok tulangan baja rasio 1%.

Tahap pembuatan benda uji dimulai dengan pembuatan bekisting, kemudian perakitan tulangan yang telah dicat kayu dan dilapisi dengan pasir. Hal ini bertujuan untuk membuat tulangan menyatu dengan beton, harapannya terjadi ikatan yang kuat sehingga tidak terjadi slip antara beton dengan tulangan bambu. Setelah itu campuran beton dengan komposisi yang telah direncanakan ditambahkan dengan serat bambu menggunakan alat pengaduk / molen (*concrete mixer*). Saat proses pencampuran serat ke dalam adukan diusahakan sedemikian rupa, sehingga diharapkan tidak terjadi pengumpulan serat. Benda uji dicor menggunakan metode pengecoran secara konvensional yaitu dengan bekisting. Perawatan dilakukan selama 7 hari. Pengujian benda uji dilakukan pada saat balok beton telah mencapai umur 28 hari. Benda uji diberikan beban hingga balok mengalami keruntuhan. Kemudian dilakukan pengambilan data yaitu besar beban dan nilai lendutan. Gambar skema pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema pengujian benda uji balok

Sedangkan untuk pengujian *pull-out*, benda uji yang sudah berumur 28 hari dilakukan pengujian dengan meletakkan benda uji di atas bidang datar. Pada balok *pull-out* pertama diberi tumpuan sendi dan balok yang kedua diberi tumpuan rol. Diantara 2 tulangan dipasang *piston* yang disambungkan dengan *load cell* pada ujung *piston*. Kemudian dihubungkan pompa hidrolik pada *piston* agar dapat dipompa dan kabel *load indicator* dipasang pada *load cell* agar dapat dibaca beban yang telah dipompa hidrolik. Pemasangan *dial gauge* diletakkan pada sisi samping benda uji dengan tujuan agar dapat dibaca perpindahan yang terjadi. Sehingga dari pengujian ini, didapatkan nilai perpindahan dan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok tersebut hingga mengalami kondisi slip. Gambar skema pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Skema pengujian benda uji *pull-out*

3.7 Prosedur Penelitian

1. Persiapan bahan dan alat yang akan digunakan
2. Pembuatan bekisting
3. Pencampuran bahan beton serta penambahan serat bambu dengan menggunakan *concrete mixer*.
4. Pengecoran benda uji balok dengan komposisi yang telah direncanakan.
5. Pengambilan campuran beton untuk sampel silinder pada masing-masing pengecoran
6. Perawatan benda uji selama 7 hari menggunakan karung basah dan disiram
7. Pengujian kuat tekan beton dari sampel yang telah berumur 28 hari
8. Pengujian benda uji balok yang dilakukan dengan benda statik hingga mencapai beban maksimum aktual. Lalu dilanjutkan pada tahap *displacement control* hingga balok mengalami keruntuhan.
9. Merekam, mencatat data yang diperlukan
10. Analisis data
11. Pembahasan hasil pengolahan data
12. Penarikan kesimpulan

3.8 Metode Analisis Data

3.8.1 Analisis Kuat Lentur Balok

Dari hasil pengujian balok di laboratorium, selanjutnya akan didapatkan nilai beban maksimum dan lendutan yang akan dimasukkan ke dalam Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.3 *Rencana form data benda uji balok*

Pengujian Lentur Balok

Nama Benda Uji :

Tempat dan Tanggal Pengujian :

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)

3.8.2 Analisis Statistik

Hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian benda uji balok beton bertulang bambu dengan agregat batu pumice serta penambahan serat kemudian diolah dan dianalisis menurut prosedur analisis statistik. Analisis data dilakukan dengan model rancangan faktorial sebagian. Untuk menentukan kesimpulan ada tidaknya pengaruh penambahan serat bambu terhadap beton bertulang bambu dengan agregat kasar batu *pumice*, dinyatakan secara statistik sebagai berikut :

$$H_{0\lambda} = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots \alpha_b = 0$$

$$H_{1\lambda} = \text{sekurang-kurangnya satu } \alpha_1 \neq \text{nol}$$

Dengan :

H_0 = Menyatakan tidak ada pengaruh dari penambahan serat bambu terhadap kuat lentur beton bertulangan bambu dengan agregat batu *pumice*.

H_1 = Menyatakan ada pengaruh dari penambahan serat bambu terhadap kuat lentur beton bertulangan bambu dengan agregat batu *pumice*.

Perhitungan analisis ragam untuk percobaan faktorial yang terdiri dari tiga faktor (Faktor A, B dan C) dengan menggunakan rancangan dasar RAL (Rancangan Acak Lengkap) dapat diikuti melalui tahap-tahap berikut :

- Perhitungan Kontras Faktor Utama

	A ₁		A ₂	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
C ₁	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₂ C ₁	A ₂ B ₁ C ₁	A ₂ B ₂ C ₁
C ₂	A ₁ B ₁ C ₂	A ₁ B ₂ C ₂	A ₂ B ₁ C ₂	A ₂ B ₂ C ₂

Jika ingin mengetahui kontras A dari rancangan percobaan di atas, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kontras A} = (A_2B_1C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_2C_2 + A_2B_1C_1) \quad (3-1)$$

Untuk mengetahui pengaruh utama dari penambahan serat bambu (Faktor A), maka pengaruh lain dari taraf tertentu yang tidak berarti dapat diabaikan untuk menghindari terjadinya pemborosan. Dengan demikian dapat dijelaskan secara sederhana seperti persamaan eliminasi di bawah ini :

Kontras A

$$A_2B_1C_2 + A_2B_2C_1 = 2A_2 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2$$

$$A_1B_2C_2 + A_1B_1C_1 = 2A_1 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2$$

$$= 2A_2 + 2A_1$$

Sehingga dari hasil eliminasi di atas didapatkan kontras dari faktor A (penambahan serat bambu).

- Perhitungan JKT (Jumlah Kuadrat Tengah)

$$JKT = \sum \sum \sum \lambda_{ijk} - \frac{y^2}{\text{banyak pengamatan}}$$

- Perhitungan JKA (Jumlah Kuadrat A)

$$JKA = \frac{(\text{Kontras A})^2}{2^2 n}$$

- Perhitungan JKG (Jumlah Kuadrat Galat)

$$JKG = JKT - JKP$$

- Menentukan derajat bebas (DB) masing-masing melalui :

$$\text{DB perlakuan} = abc - 1$$

$$\text{DB Galat} = abc(r - 1)$$

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

$$\text{DB Faktor A} = a - 1 \text{ banyaknya taraf faktor A} - 1$$

- Menentukan Kuadrat Tengah (KT) masing-masing melalui pembagian antara JK dan derajat bebasnya, yaitu :

$$KTA = \frac{JKA}{DB}$$

- Menyusun daftar analisis ragam seperti di bawah ini :

Tabel 3.4 Rancangan Tabel Anova

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F hitung
Perlakuan				
A	a - 1	JKA	KTA	JKA/JKG
Galat	Rabcd - a	JKG	KTG	
Total	Rabcd - 1	JKT	-	

- Membuat kesimpulan

Menyimpulkan H_0 diterima atau ditolak dengan membandingkan antara hasil analisis statistik dengan kriteria pengujian (H_0 / H_1). Kriteria pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

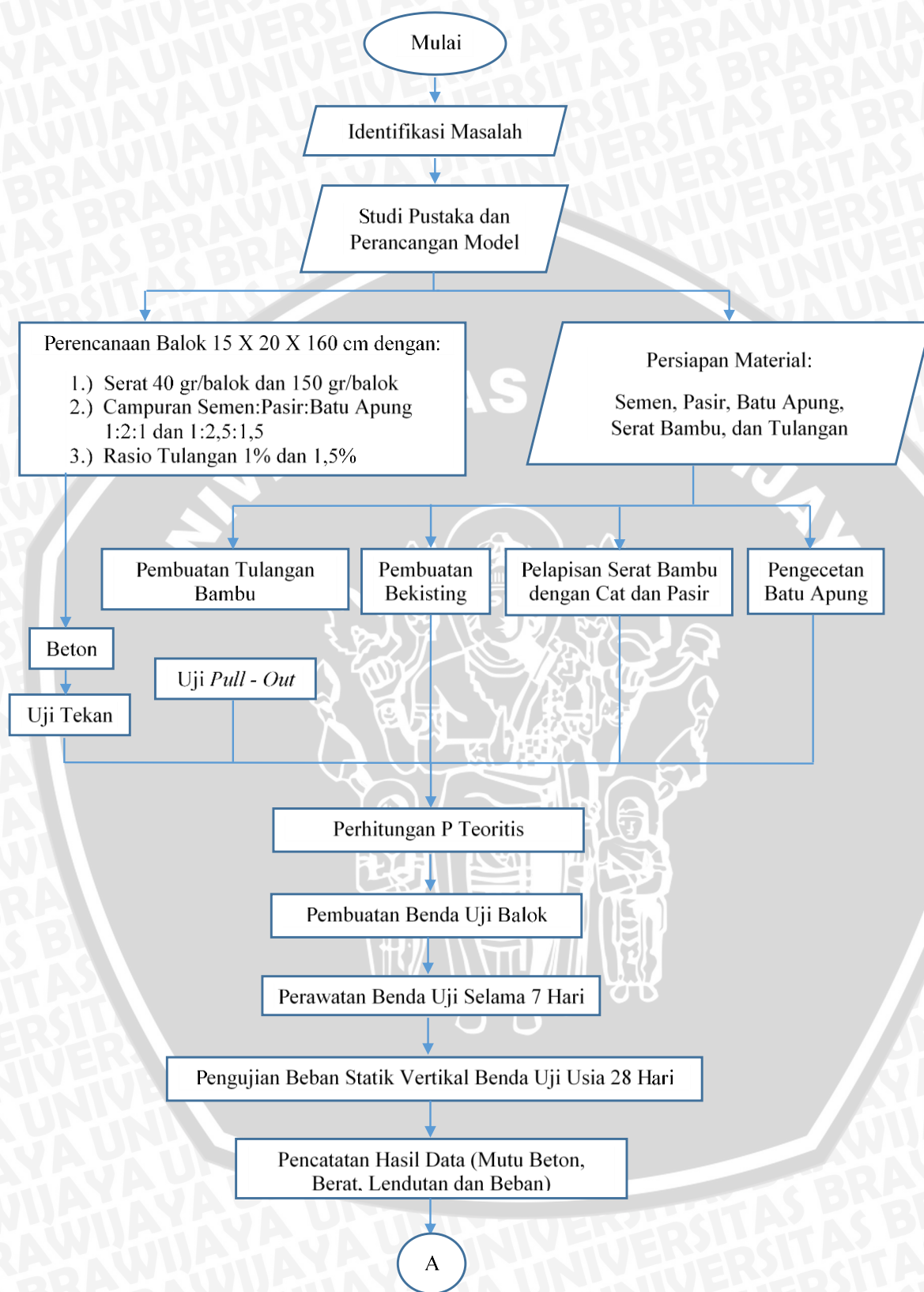
H_0 diterima apabila $F_{hitung} \leq F_{tabel}$

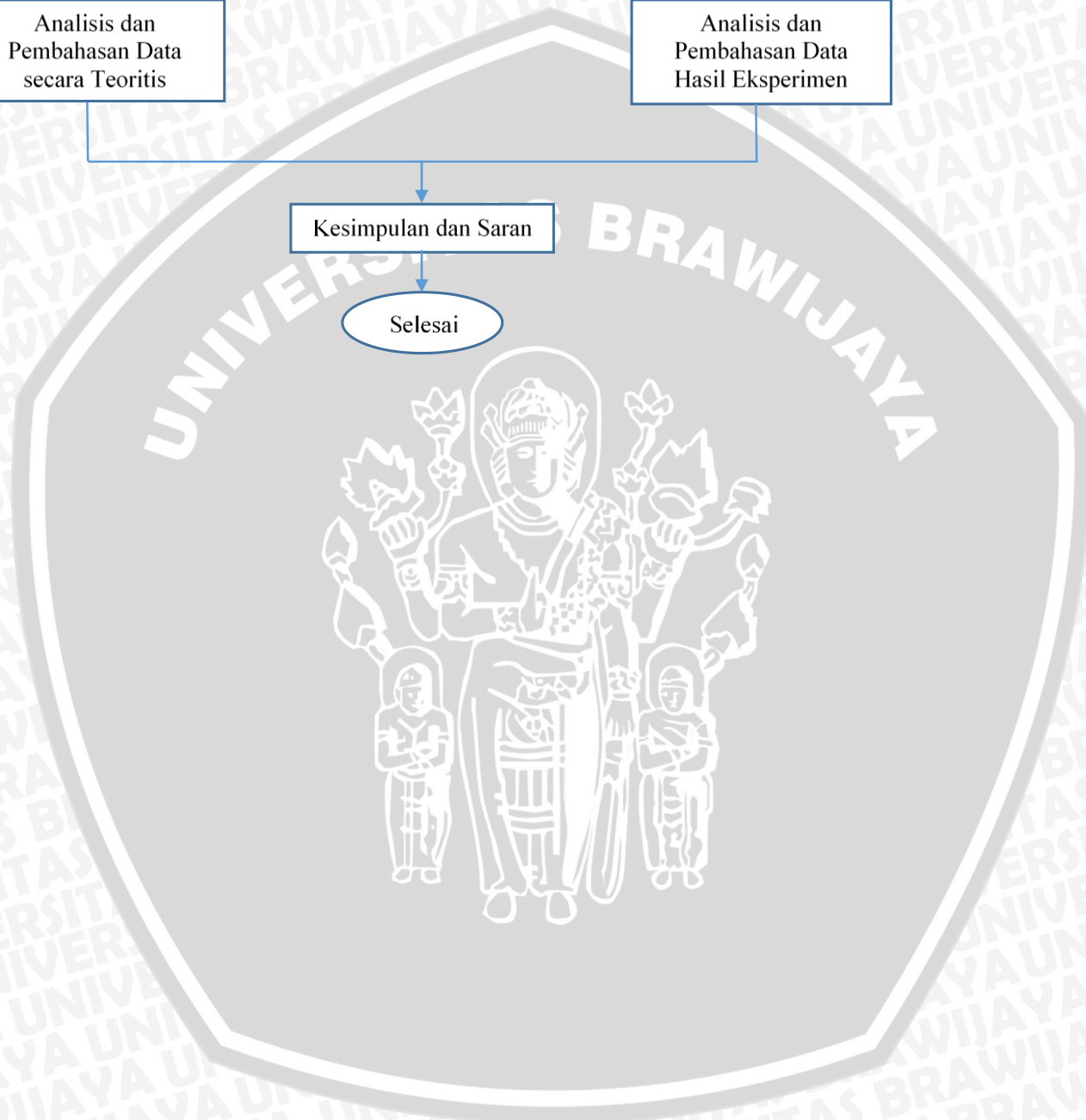
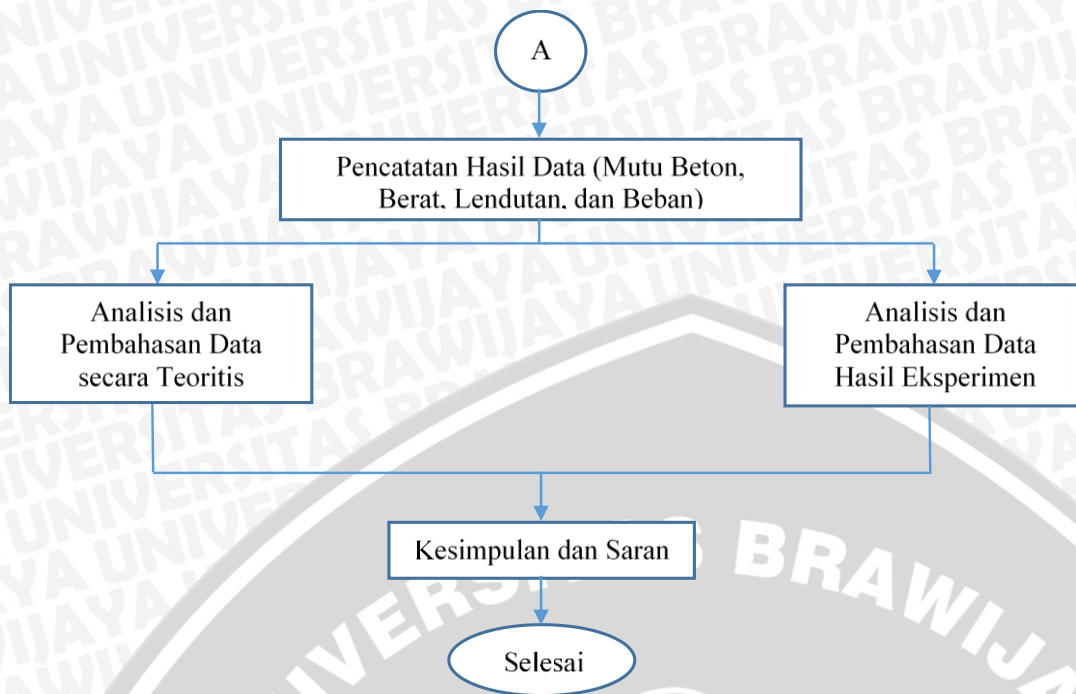
H_1 ditolak apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$

Setelah didapatkan harga F_{hitung} dan F_{tabel} melalui analisis secara statistik, kemudian membandingkan antara harga F_{hitung} dengan F_{tabel} . Apabila ternyata $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dengan kata lain terdapat pengaruh dan penambahan serat bambu terhadap kuat lentur beton bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*. Begitu juga sebaliknya apabila $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ berarti H_0 diterima dan H_1 ditolak. Hal ini dapat dikatakan bahwa tidak terdapat pengaruh yang nyata dari penambahan serat bambu terhadap kuat lentur beton bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*.



3.9 Diagram Alir Penelitian





BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Beton

4.1.1 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump. Pengujian ini dilakukan ketika beton telah dituang dari mesin pengaduk ke bak penampungan. Dalam pengujian ini didapatkan nilai slump yang berguna untuk menunjukkan sifat kelecakan (*workability*) dalam campuran beton. Nilai slump diperoleh dari besarnya penurunan campuran beton segar yang telah dimasukkan kedalam kerucut Abrams dan diisi tiap 1/3 bagian dengan masing-masing lapisan ditusuk sebanyak 25 kali. Setelah itu alat uji slump diangkat secara vertikal untuk mendapatkan nilai slump. Hasil nilai slump pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Uji Slump Beton

Benda Uji	No	Faktor Air Semen	Slump (cm)	Slump Rata-rata (cm)
A ₁ B ₂ C ₂	1	0.4	10	10.00
	2		10.3	
	3		9.5	
A ₂ B ₂ C ₁	1	0.4	7.8	7.8
	2		7.7	
	3		7.8	
A ₁ B ₁ C ₁	1	0.4	11.7	12.2
	2		12	
	3		12.8	
A ₂ B ₁ C ₂	1	0.4	9	9.00
	2		9.3	
	3		8.7	
A ₀ B ₂ C ₁		0.4	11.8	11.8
Beton Normal		0.4	12.3	12.3

Dari tabel pengujian slump beton segar di atas terlihat adanya penurunan nilai slump seiring dengan bertambahnya kadar serat pada adukan beton. Ini artinya penambahan serat menurunkan kelecakan (*workability*) beton. Beton dengan kadar serat rendah (A₁) memiliki nilai slump sebesar 12.2 cm pada komposisi rendah (B₁) dan 10.00 cm pada komposisi tinggi

(B₂). Sedangkan beton dengan kadar serat tinggi (A₂) memiliki nilai slump sebesar 9 cm pada komposisi rendah (B₁) dan 7.8 cm pada komposisi tinggi (B₂). Sedangkan pada balok kontrol yang tidak ditambahkan serat dan beton normal, memiliki nilai slump berturut-turut 11.8 cm dan 12.3 cm. Beton dengan penambahan serat memiliki nilai slump yang lebih kecil dibandingkan dengan beton tanpa serat. Hal ini menunjukkan bahwa serat bambu menyerap air yang ada pada campuran beton segar. Akan tetapi nilai slump yang didapat masih memenuhi standart dari PBI 1971 yaitu antara 7,5 cm – 15 cm untuk balok beton.



Gambar 4.1 Pengujian slump

4.1.2 Pengujian Beton Keras

Dalam penelitian ini diambil benda uji kuat tekan sebanyak tiga sampel dari setiap pengecoran. Benda uji kuat tekan yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pembuatan benda uji silinder dilakukan pada saat proses pengecoran balok beton dimana setiap 1 buah benda uji balok dihasilkan 3 buah benda uji silinder. Sehingga, total benda uji silinder dalam penelitian ini sebanyak 36 buah. Pengujian kuat tekan ini dilakukan ketika benda uji silinder berumur 28 hari setelah melalui proses perawatan (*curing*). Proses perawatan (*curing*) dilakukan dengan cara membasahi karung goni dan meletakkannya di atas benda uji silinder serta disiram dengan air selama dua minggu atau 14 hari setelah dilepas dari bekistingnya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi proses hidrasi pada beton sehingga dapat mencegah timbulnya retakan akibat proses hidrasi tersebut. Hasil pengujian kuat tekan benda uji silinder beton dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $A_1B_2C_2$

No	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (fci)	(fci-fcm) ²
					kN	kg	kg/cm ²	kg/cm ²
1	9.85	176.715	5301.438	0.00186	304	30400	172.0	355.806
2	10.15	176.715	5301.438	0.00191	328	32800	185.6	27.895
3	10	176.715	5301.438	0.00189	352	35200	199.2	68.884
4	10	176.715	5301.438	0.00189	332	33200	187.9	9.109
5	9.85	176.715	5301.438	0.00186	320	32000	181.1	96.210
6	9.5	176.715	5301.438	0.00179	301	30100	170.3	422.733
7	9.9	176.715	5301.438	0.00187	334	33400	189.0	3.558
8	10.22	176.715	5301.438	0.00193	407	40700	230.3	1554.194
9	9.92	176.715	5301.438	0.00187	358	35800	202.6	136.772
Jumlah							1718.0	
fc'm							190.9	
SD							18.286	
f'c (kg/cm ²)							160.810	
f'c (Mpa)							16.081	

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A₂B₂C₁

No	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (fci)	(fci-fcm) ²
					kN	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	9.8	176.715	5301.438	0.00185	385	38500	217.9	70.987
2	10.1	176.715	5301.438	0.00191	393	39300	222.4	167.766
3	9.88	176.715	5301.438	0.00186	367	36700	207.7	3.099
4	10.08	176.715	5301.438	0.00190	351	35100	198.6	116.957
5	9.72	176.715	5301.438	0.00183	349	34900	197.5	142.718
6	9.64	176.715	5301.438	0.00182	352	35200	199.2	105.038
7	9.82	176.715	5301.438	0.00185	392	39200	221.8	153.427
8	9.66	176.715	5301.438	0.00182	380	38000	215.0	31.315
9	9.82	176.715	5301.438	0.00185	362	36200	204.9	21.068
Jumlah							1885.0	
fc'm							209.4	
SD							10.077	
f'c (kg/cm ²)							192.863	
f'c (Mpa)							19.286	

No	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (fci)	(fci-fcm) ²
					kN	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	10.64	176.715	5301.438	0.00201	363	36300	205.4	1466.239
2	10.46	176.715	5301.438	0.00197	440	44000	249.0	27.895
3	10.5	176.715	5301.438	0.00198	442	44200	250.1	41.131
4	10.1	176.715	5301.438	0.00191	409	40900	231.4	150.328
5	10.52	176.715	5301.438	0.00198	484	48400	273.9	910.862
6	10.6	176.715	5301.438	0.00200	464	46400	262.6	355.806
7	10.45	176.715	5301.438	0.00197	373	37300	211.1	1064.890
8	10.6	176.715	5301.438	0.00200	425	42500	240.5	10.283
9	10.55	176.715	5301.438	0.00199	476	47600	269.4	658.098
Jumlah							2193.4	
fc'm							243.7	
SD							24.201	
f'c (kg/cm ²)							203.89	
							7	
f'c (Mpa)							20.390	

No	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (fci)	(fci-fcm) ²
					kN	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	10.65	176.715	5301.438	0.00201	422	42200	238.8	11.105
2	10.65	176.715	5301.438	0.00201	420	42000	237.7	19.929
3	10.4	176.715	5301.438	0.00196	447	44700	253.0	116.957
4	10.35	176.715	5301.438	0.00195	464	46400	262.6	417.577
5	10.7	176.715	5301.438	0.00202	361	36100	204.3	1432.726
6	10.7	176.715	5301.438	0.00202	425	42500	240.5	2.672
7	10.6	176.715	5301.438	0.00200	472	47200	267.1	623.091
8	10.65	176.715	5301.438	0.00201	450	45000	254.6	156.558
9	10.5	176.715	5301.438	0.00198	390	39000	220.7	459.705
Jumlah							2179.2	
f'c'm							242.1	
SD							20.126	
f'c (kg/cm²)							209.02 9	
f'c (Mpa)							20.903	

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $A_0B_2C_1$

No	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (fci)	(fci-fcm) ²
					kN	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	10.8	176.715	5301.438	0.00204	278	27800	157.3	227.716
2	9.76	176.715	5301.438	0.00184	327	32700	185.0	159.721
3	9.72	176.715	5301.438	0.00183	309	30900	174.9	6.013
Jumlah							517.2	
fc'm							172.4	
SD							14.026	
f'c (kg/cm ²)							149.334	
f'c (Mpa)							14.933	

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal

No	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (fci)	(fci-fcm) ²
					kN	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	12.1	176.715	5301.438	0.00228	301	30100	170.3	2.882
2	12.15	176.715	5301.438	0.00229	307	30700	173.7	2.882
Jumlah							344.1	
fc'm							172.0	
SD							2.401	
f'c (kg/cm ²)							168.079	
f'c (Mpa)							16.808	

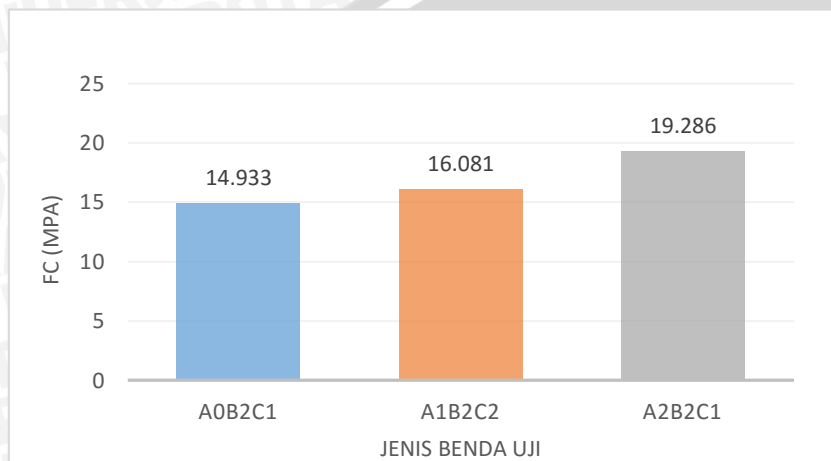
Keterangan:

- A₁ = Penambahan serat bambu sebesar 40 gr
- A₂ = Penambahan serat bambu sebesar 150 gr
- B₁ = Komposisi semen : pasir : kerikil yaitu 1 : 2 : 1 (mutu tinggi)
- B₂ = Komposisi semen : pasir : kerikil yaitu 1 : 2,5 : 1,5 (mutu rendah)
- C₁ = Rasio tulangan bambu dengan dimensi 1,5 cm x 1 cm
- C₂ = Rasio tulangan bambu dengan dimensi 2 cm x 1 cm

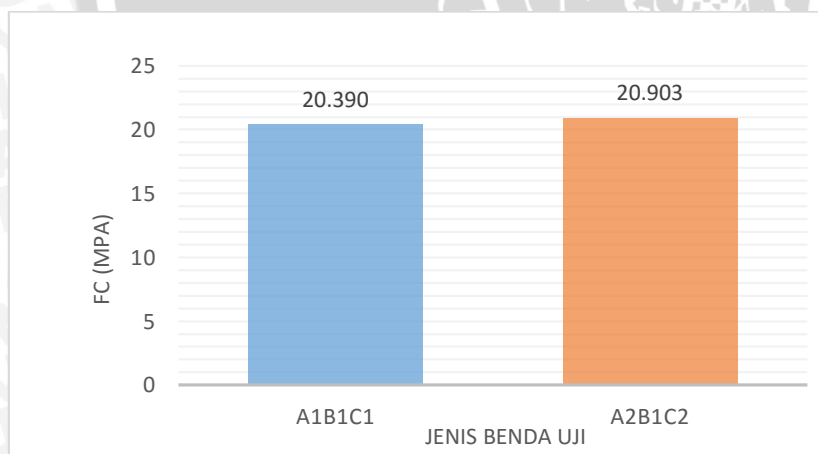
Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai rata-rata kuat tekan beton dengan penambahan serat rendah, tinggi dan beton tanpa penambahan serat pada komposisi yang sama (B₂) diperoleh berturut-turut sebesar 16.081 Mpa, 19.286 Mpa, dan 14.933 Mpa. Hal ini membuktikan bahwa penambahan serat bambu pada campuran beton dapat menambah kuat tekan bila dibandingkan dengan beton tanpa ada penambahan serat. Kuat tekan beton

bertambah seiring dengan jumlah penambahan serat. Prosentase kenaikan tersebut sebesar 7.69% pada penambahan serat sebesar 40 gr dan 29.15% pada penambahan serat sebesar 150 gr.

Begitu juga pada nilai kuat tekan pada beton pada komposisi yang lain. Pada komposisi rendah (B_1), penambahan serat bambu juga masih mampu menaikkan kuat tekan beton walaupun kenaikannya relatif kecil. Nilai kuat tekan beton dengan penambahan serat kadar rendah sebesar 20.390 Mpa dan pada penambahan serat kadar tinggi sebesar 20.903 Mpa.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan kuat tekan beton pada komposisi tinggi (B_2)



Gambar 4.3 Grafik perbandingan kuat tekan beton pada komposisi rendah (B_1)

4.2 Hasil Pengujian *Pull-out* Tulangan Bambu

Uji kekuatan lekatan *pull-out* digunakan untuk mengetahui kekuatan lekat nyata tulangan pada balok beton. Kekuatan lekatan tersebut didapatkan dari beban maksimum yang didapatkan dari pengujian dan nantinya digunakan untuk menghitung tegangan lekatan antara beton dengan tulangan bambu. Pengujian *pull-out* dilaksanakan dengan cara

meletakkan tabung *piston* diantara dua tulangan bambu yang telah tertanam di dalam beton. Tabung *piston* dihubungkan dengan pompa hidrolik dan dipasang *loadcell* untuk membaca beban. Pemberian beban dilakukan setiap kenaikan 20 kg hingga tulangan mengalami slip sehingga beban sudah tidak dapat bertambah lagi. Tulangan yang digunakan memiliki dimensi yang sama pada masing-masing benda uji, yaitu tinggi 1,5 cm, lebar 1 cm, dan panjang tulangan yang tertanam di dalam beton 24 cm. Tegangan lekat bambu dihitung berdasarkan persamaan (4-1). Dan hasil beban maksimum dan tegangan lekatan untuk semua benda uji ditunjukkan pada Tabel 4.8.

$$f_y = \frac{P}{4 \times \text{keliling tulangan} \times l_d} \quad (4-1)$$

dengan:

f_y = Tegangan lekat bambu (Mpa)

P = Beban (kg)

l_d = Panjang penyaluran (cm²)

Tabel 4.8 Tegangan Lekat Tulangan Bambu dengan Beton

No	Benda Uji	Beban (kg)	f_y (Mpa)	f_y Rata-Rata (Mpa)
1	A ₁ B ₂ C ₁	720	0.300	0.346
		940	0.392	
2	A ₂ B ₂ C ₁	700	0.292	0.233
		420	0.175	
3	A ₂ B ₁ C ₁	880	0.367	0.300
		560	0.233	
4	A ₁ B ₁ C ₁	1140	0.475	0.371
		640	0.267	
5	A ₀ B ₂ C ₁	650	0.271	0.260
		600	0.250	

Berdasarkan hasil yang tertera pada Tabel 4.8, terlihat bahwa beban maksimum yang diperoleh dari hasil pengujian *pull-out* bambu yang satu dengan yang lain berbeda cukup jauh. Hal ini disebabkan karena banyaknya kendala yang dialami saat melakukan pengujian di laboratorium. Minimnya alat yang digunakan menjadi salah satu penyebab besarnya perbedaan beban maksimum yang dapat dicapai pada uji *pull-out* tersebut. Butuh ketelitian yang tinggi saat melakukan pengujian.

Pada beton dengan komposisi tinggi (B_2), nilai tegangan lekat rata-rata beton dengan penambahan serat rendah (A_1) sebesar 0.346 Mpa dan 0.233 Mpa pada beton dengan penambahan serat tinggi (A_2). Sedangkan pada komposisi rendah (B_1), nilai tegangan lekat pada beton dengan serat rendah (A_1) sebesar 0.371 Mpa dan 0.300 Mpa pada beton dengan serat tinggi (A_2). Dari kedua komposisi tersebut, nilai tegangan lekat bambu pada beton dengan kadar serat rendah lebih besar dari beton dengan penambahan serat tinggi. Hal ini menandakan bahwa penambahan serat bambu dengan kadar tinggi justru akan menurunkan kekuatan lekat bambu terhadap beton. Ini terjadi karena adukan beton pada saat pengecoran sudah mulai sulit dikerjakan, akibat dari kelecakan yang terlalu rendah. Sehingga pemadatan beton sulit dilakukan dan menyebabkan gaya lekat beton menjadi berkurang.

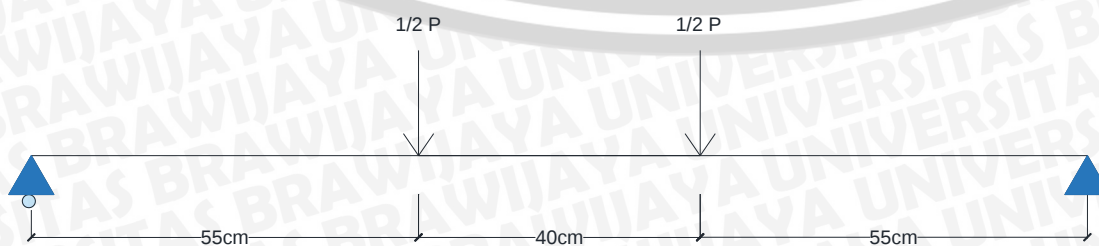


Gambar 4.4 Pengujian pull-out bambu

4.3 Analisa Perhitungan Beban Maksimum (P_u)

4.3.1 Pemodelan Struktur

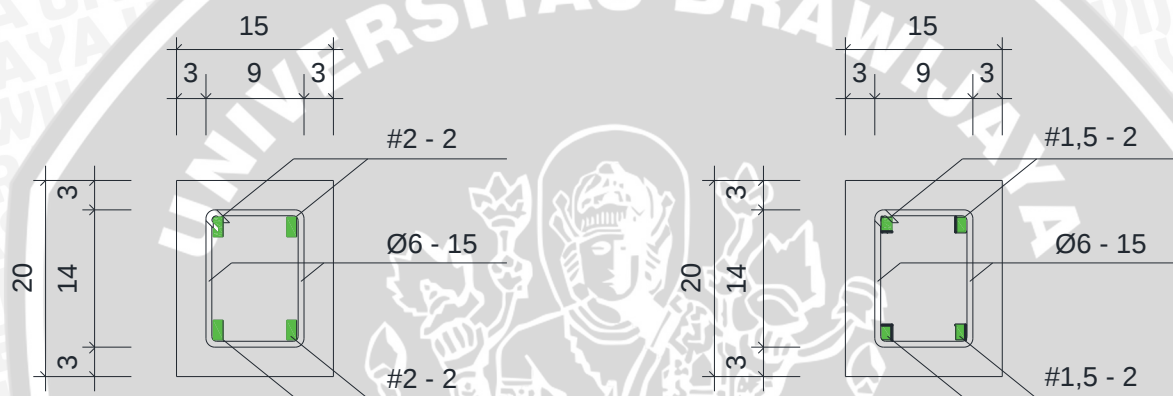
Sebelum melakukan analisis perhitungan beban maksimum, maka perlu dilakukan pemodelan struktur terlebih dahulu. Benda uji balok beton diasumsikan sebagai gelagar sederhana yang ditumpu oleh tumpuan yaitu sendi dan rol. Diasumsikan balok dibebani oleh beban vertikal yang dibagi menjadi dua titik, dengan harapan hasil yang didapatkan bukan kegagalan geser pada balok, melainkan murni kegagalan lentur. Pemodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pemodelan pembebanan struktur

4.3.2 Kapasitas Lentur

Untuk mendapatkan beban maksimum secara teoritis, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan kapasitas lentur balok. Perhitungan kapasitas lentur balok menggunakan cara analisis penampang segiempat beton bertulang. Balok diasumsikan sebagai balok bertulangan tunggal, yaitu pada daerah tarik saja. Hal ini karena pengaruh tulangan tekan dianggap memiliki pengaruh yang sangat kecil dalam menambah kuat tekan dari balok beton tersebut. Dalam analisis ini berlaku hukum keseimbangan gaya, dimana gaya tarik (*tension* = T) dari tulangan sama dengan gaya tekan (*compression* = C) dari beton pada daerah tekan (*compression concrete* = C_c).



Gambar 4.6 Potongan melintang balok beton dengan rasio 1,5% (kiri) dan 1% (kanan)

Diketahui :

Untuk komposisi balok $A_1B_2C_2$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$d = 170 \text{ mm}$$

$$l_d (\text{panjang penyaluran}) = 1540 \text{ mm}$$

$$A_s = 2 \times \text{keliling tulangan} \times l_d$$

$$= 2 \times (2 \times (150 + 200) \times 1540)$$

$$= 92400 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = 16.081 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 0.346 \text{ Mpa}$$

Penyelesaian :

Asumsi beton telah mencapai regangan batasnya.

Persamaan keseimbangan gaya,

$$T = C_c$$

$$A_s f_y = 0.85 f'_c a b$$

$$92400 \cdot 0.346 = 0.85 \cdot 16,081 \cdot a \cdot 150$$

$$31955 = 2050,33 \cdot a$$

$$a = 15.585 \text{ mm}$$

kemudian dihitung nilai letak garis netral,

$$c = a/\beta_1$$

$$c = 15.585 / 0.85$$

$$c = 18.336 \text{ mm}$$

selanjutnya dihitung kapasitas nominalnya,

$$M_n = T(d-a/2)$$

$$M_n = 31955 (170 - 16.298/2)$$

$$M_n = 5183336.213 \text{ Nmm}$$

$$= 518.334 \text{ Kgm}$$

sehingga beban maksimum teoritis (P_u) adalah :

$$P_u = (518.334 / 0.55) \times 2$$

$$= 1884.85 \text{ kg}$$

Didapatkan nilai P_u teoritis balok beton $A_1B_2C_2$ sebesar 1884.85 kg. Untuk cara perhitungan beban maksimum teoritis untuk balok beton $A_2B_2C_1$, $A_1B_1C_1$, $A_2B_1C_2$, $A_0B_2C_1$, dan beton normal dapat dilihat pada lampiran 1 . Hasil perhitungan beban maksimum secara teoritis dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

No.	Benda Uji	P maks (kg)
1.	A ₁ B ₂ C ₂	1884.85
2.	A ₂ B ₂ C ₁	1086.80
3.	A ₂ B ₁ C ₂	1661.18
4.	A ₁ B ₁ C ₁	1708.14
5.	A ₀ B ₂ C ₁	1201.187
6.	Beton Normal	4467.918

4.3.3 Beban Vertikal Maksimum Balok Aktual

Pengujian balok terhadap beban vertikal ini dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang telah dituliskan pada bab III sebelumnya. Benda uji berupa balok yang telah berumur 28 hari disiapkan dan diletakkan di atas tumpuan sendi dan rol. Selanjutnya dilakukan *setting* peralatan pengujian sesuai dengan skema yang telah dibuat.

Pengujian balok dilakukan dengan memberikan beban melalui *load cell*. Pemberian beban dilakukan secara bertahap sampai didapatkan data yang diperlukan. Data yang diambil dalam penelitian ini adalah lendutan yang terjadi pada balok yang didapatkan dari pembacaan LVDT (*Linier Variable Differential Transformers*) dan beban yang bekerja.



Gambar 4.7 Setting pengujian pembebanan balok

Tabel 4.10 Hasil Pebandingan antara Beban Maksimum Hasil Eksperimen dengan Teoritis

No.	Benda Uji	P maks (Kg)			KR%
		Aktual	Rata-Rata aktual	Teoritis	
1.	A ₁ B ₂ C ₂	1 1650	2200.00	1884.85	14.33
		2 2350			
		3 2600			
2.	A ₂ B ₂ C ₁	1 2150	1716.67	1086.18	36.69
		2 1250			
		3 1750			
3.	A ₂ B ₁ C ₂	1 1950	1900.00	1661.18	12.57
		2 2150			
		3 1600			
4.	A ₁ B ₁ C ₁	1 1850	1950.00	1708.14	12.40
		2 1550			
		3 2450			
5.	A ₀ B ₂ C ₁	1 950	950	1201.187	20.912
6.	Beton Normal	1 2850	2850	4467.918	36.212

Berdasarkan pada Tabel 4.10, diketahui terdapat perbedaan nilai beban yang cukup jauh dalam satu kelompok yang sama. Ini diakibatkan karena proses pelaksanaan yang kurang ketat sehingga terdapat nilai-nilai yang menyimpang di dalam satu kelompok. Selain itu juga diakibatkan oleh perbedaan gaya slip yang terjadi antara bambu dan beton. Bambu yang memiliki lekatan yang baik, akan dapat menahan beban yang lebih besar, sedangkan pada bambu yang lekatannya kurang baik, hanya dapat menahan beban yang lebih kecil.

Akan tetapi dalam nilai beban (P) rata-rata, dapat dilihat bahwa ternyata balok dengan penambahan serat bambu mampu menahan beban vertikal maksimum yang lebih besar bila dibandingkan dengan balok kontrol dimana tidak ada penambahan serat pada campuran betonnya. Pengaruh komposisi sangat kecil dalam mempengaruhi kuat lentur beton. Sehingga dalam melihat hasil beban maksimum, pengaruh komposisi (B) diabaikan. Peningkatan kekuatan beton tertinggi pada penambahan serat kadar rendah yaitu sebanyak 40 gr/volume benda uji balok. Kadar ini sekaligus merupakan kadar optimum dari penambahan serat yang dicampurkan secara acak dalam penelitian ini. Nilai rata-rata P maks untuk benda uji yang ditambahkan serat bambu dengan kadar 40 gr sebesar 2075 kg. Sedangkan untuk kadar 150 gr sebesar 1808 kg. Penambahan serat kadar tinggi sebanyak 150 gr/volume benda uji balok mengakibatkan penurunan kekuatan balok uji. Peningkatan kekuatan mulai menurun karena beton semakin sulit dikerjakan akibat kelecakannya menurun. Namun demikian kekuatannya masih di atas beton tanpa ada penambahan serat.

Hal ini dibuktikan dengan pengujian slump pada beton segar sebelumnya. Dimana dampak dari rendahnya nilai kelecakan (*workability*) ini adalah relatif sulitnya melakukan pemadatan campuran pada benda uji balok tersebut. Pada keadaan ini, banyak dari serat yang menghalangi proses masuknya agregat untuk mengisi rongga-rongga yang terbentuk dalam campuran beton. Sehingga perlu tenaga lebih untuk membuat adukan beton dapat mengisi rata seluruh volume benda uji agar tidak terjadi keropos pada beton.

Sedangkan pada beton normal, beban yang mampu ditahan masih lebih besar di atas keduanya. Hal ini dikarenakan pada beton normal menggunakan agregat batu pecah dan tulangan yang dipakai adalah tulangan baja. Sehingga balok dengan agregat batu *pumice* dan tulangan bambu memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal.

Dari hasil pengujian aktual dan teoritis didapatkan kesalahan relatif yang cukup besar. Banyak hal yang menyebabkan terjadinya perbedaan beban maksimum pada saat eksperimen dan perhitungan teoritis. Diantaranya adalah perbedaan kuat lekat bambu dan beton yang terjadi antara benda uji balok beton dengan kuat lekat dari pengujian *pull-out* bambu yang digunakan dalam analisa teoritis. Lekatan yang terjadi pada benda uji balok jauh lebih kuat dibandingkan dengan hasil uji *pull-out*. Semakin kasar permukaan bambu, maka tegangan slip bambu akan semakin besar yang berakibat pada peningkatan kekuatan beton dalam menahan beban maksimum. Kekuatan penampang tulangan bambu tidak bisa dipastikan benar – benar merata pada tiap satuan panjang. Sulitnya memprediksikan besarnya gaya slip yang terjadi membuat standart deviasi yang besar antara benda uji yang satu dengan yang lain..

Selain itu penambahan serat bambu pada beton diabaikan dalam perhitungan teoritis, padahal serat bambu memberikan pengaruh terhadap kekuatan beton saat percobaan eksperimen. Hal ini tentu akan mengakibatkan perbedaan hasil antara perhitungan secara teoritis dan aktual.

Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Pmaks Aktual

4.4 Berat Volume Balok

4.4.1 Berat Volume Teoritis

Berat volume merupakan salah satu parameter yang diukur dalam percobaan ini. Untuk mendapatkan berat volume teoritis maka diperlukan beberapa data seperti berat volume masing-masing material dan dimensi dari benda uji tersebut. Bila semua data telah didapat maka akan diperoleh berat volume total dari benda uji.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_1B_2C_2$

Bahan	Berat Volume (kg)	Dimensi (m)			n	Volume	Berat (kg)
		Lebar	Tinggi	Panjang			
Bambu	1000	0.01	0.02	1.54	4	0.0012	1.232
Beton	1873.5	0.15	0.2	1.6	1	0.048	89.93
Baja 6 mm	0.22			0.46	10	4.600	1.012
						Total (kg)	92.172
						Berat Volume (kg/m³)	1920.246

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_2B_2C_1$

Bahan	Berat Volume (kg)	Dimensi (m)			n	Volume	Berat (kg)
		Lebar	Tinggi	Panjang			
Bambu	1000	0.01	0.015	1.54	4	0.0012	0.924
Beton	1855.3	0.15	0.2	1.6	1	0.048	89.05
Baja 6 mm	0.22			0.46	10	4.600	1.012
Total (kg)							90.989
Berat Volume (kg/m³)							1895.595

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_2B_1C_2$

Bahan	Berat Volume (kg)	Dimensi (m)			n	Volume	Berat (kg)
		Lebar	Tinggi	Panjang			
Bambu	1000	0.01	0.02	1.54	4	0.0012	1.232
Beton	1995.3	0.15	0.2	1.6	1	0.048	95.77
Baja 6 mm	0.22			0.46	10	4.600	1.012
						Total (kg)	98.017
						Berat Volume (kg/m³)	2042.016

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_1B_1C_1$

Bahan	Berat Volume (kg)	Dimensi (m)			n	Volume	Berat (kg)
		Lebar	Tinggi	Panjang			
Bambu	1000	0.015	0.02	1.54	4	4	0.924
Beton	1978.9	0.15	0.2	1.6	1	1	94.99
Baja 6 mm	0.22			0.46	10	10	1.012
Total (kg)							96.924
Berat Volume (kg/m³)							2019.251

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok $A_0B_2C_1$

Bahan	Berat Volume (kg)	Dimensi (m)			n	Volume	Berat (kg)
		Lebar	Tinggi	Panjang			
Bambu	1000	0.01	0.015	1.54	4	0.0009	0.9
Beton	1903.9	0.15	0.2	1.6	1	0.048	91.39
Baja 6 mm	0.22			0.46	10	4.600	1.012
Total (kg)							93.299
Berat Volume (kg/m³)							1944.219

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Berat Volume Teoritis Balok Beton Normal

Bahan	Berat Volume (kg)	Dimensi (m)			n	Volume	Berat (kg)
		Lebar	Tinggi	Panjang			
Besi 12	1000	0.01	0.02	1.54	4	0.0012	1.2
Beton	2287.1	0.15	0.2	1.6	1	0.048	109.78
Baja 6 mm	0.22			0.46	10	4.600	1.012
Total (kg)							111.994
Berat Volume(kg/m³)							2333.199

4.4.2 Berat Volume Aktual

Pada pengujian berat volume balok, diperlukan beberapa data yang akan diukur. Data-data tersebut meliputi berat, panjang, lebar, dan tinggi balok. Proses pengambilan data dilakukan sebelum balok diuji beban vertikal yakni ketika beton telah mencapai umur 28 hari. Untuk pengukuran berat balok digunakan timbangan dan meteran untuk mendapatkan berat dan dimensi balok.

Tabel 4.17 Hasil Pengukuran Berat Volume Aktual

No.	Benda Uji		L	B	H	Volume	Berat	Berat Volume	Berat Volume
			(cm)	(cm)	(cm)	(m ³)	(kg)	(kg/m ³)	Rata-rata (kg/m ³)
1	A ₁ B ₂ C ₂	1	160.1	15.4	20.3	0.050	90.7	1819.468	1841.532
		2	160.4	15.4	20.0	0.049	90.95	1844.967	
		3	160.3	15.4	20.4	0.050	93.85	1860.161	
2	A ₂ B ₂ C ₁	1	160.3	15.3	20.4	0.050	93.45	1864.726	1868.212
		2	160.1	15.5	20.0	0.050	92.95	1876.467	
		3	160.1	15.3	20.1	0.049	92.1	1863.443	
3	A ₂ B ₁ C ₂	1	160.2	15.5	20.1	0.050	95.9	1922.4	1938.414
		2	160.1	15.3	20.1	0.049	95	1930.11	
		3	160.5	15.5	20.3	0.051	99.15	1962.732	
4	A ₁ B ₁ C ₁	1	160.1	15.4	20.7	0.051	98.85	1944.174	1953.006
		2	160.2	15.4	20.1	0.050	98.25	1982.737	
		3	160.2	15.5	20.2	0.050	97.1	1932.106	
5	A ₀ B ₂ C ₁	1	161.0	15.3	20.0	0.049	90.45	1832.897	1832.897
6	Beton Normal	1	160.3	15.2	20.2	0.049	117.7	2386.64	2386.64

Nilai rata-rata berat volume balok dengan komposisi rendah (B₁) memiliki berat volume yang lebih besar dibandingkan dengan balok dengan komposisi tinggi (B₂). Hal ini dikarenakan kebutuhan pasir dan semen pada saat pengecoran lebih banyak pada komposisi rendah daripada komposisi tinggi. Sehingga pasta yang ada dalam campuran beton

mengakibatkan berat balok menjadi lebih besar. Namun rata-rata berat volume dari balok beton ringan masih di bawah berat volume beton normal. Penambahan serat tidak terlalu berpengaruh terhadap berat volume beton, karena beton memiliki berat isi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan tulangan ataupun serat bambu.

Berat volume rata-rata balok beton tidak begitu berbeda antara perhitungan teoritis dan pengujian secara eksperimen. Perbandingan berat volume beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 *Perbandingan Nilai Rata-rata Berat Volume Beton Aktual dan Teoritis*

No.	Benda Uji	Berat Volume (kg/m ³)		KR %
		Aktual	Teoritis	
1	A ₁ B ₂ C ₂	1841.532	1920.25	4.10
2	A ₂ B ₂ C ₁	1868.212	1895.60	1.44
3	A ₂ B ₁ C ₂	1938.414	2042.02	5.07
4	A ₁ B ₁ C ₁	1953.006	2019.25	3.28
5	A ₀ B ₂ C ₁	1832.897	1944.22	5.73
6	Beton Normal	2386.64	2333.199	2.24

4.5 Analisa Kekakuan Balok

4.5.1 Lendutan

Analisa perhitungan lendutan teoritis pada penelitian ini dihitung dengan Metode *Conjugate Beam*. Pada metode ini langkah yang harus dilakukan adalah mencari momen dan selanjutnya menghitung nilai Q. Namun sebelumnya nilai modulus elastisitas beton harus diketahui. Untuk menghitung modulus elastisitas beton (E), karena berat volume (w_c) benda uji berkisar diantara 1500-2500 kg/m³ maka sesuai SNI 03-2847-2002 menggunakan persamaan berikut :

$$E = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c}$$

dengan:

E = Modulus elastisitas beton (MPa)

w_c = Berat volume beton (kg/m³)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

Untuk benda uji $A_1B_2C_2$:

Diketahui,

$$L = 1500 \text{ mm} \quad d = 170 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm} \quad f'c = 16.081 \text{ Mpa}$$

$$h = 200 \text{ mm} \quad Wc = 1841.532 \text{ kg/m}^3$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

Elastisitas Balok

$$E = 1841.532^{1.5} \times 0,043 \sqrt{16.081}$$

$$= 13568,950 \text{ Mpa} = 1356,895 \text{ kg/mm}^2$$

Inersia Sumbu

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad I_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 200^3 \quad = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 150^3$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4 \quad = 56250000 \text{ mm}^4$$

$$EI = 1356,895 \times 100000000$$

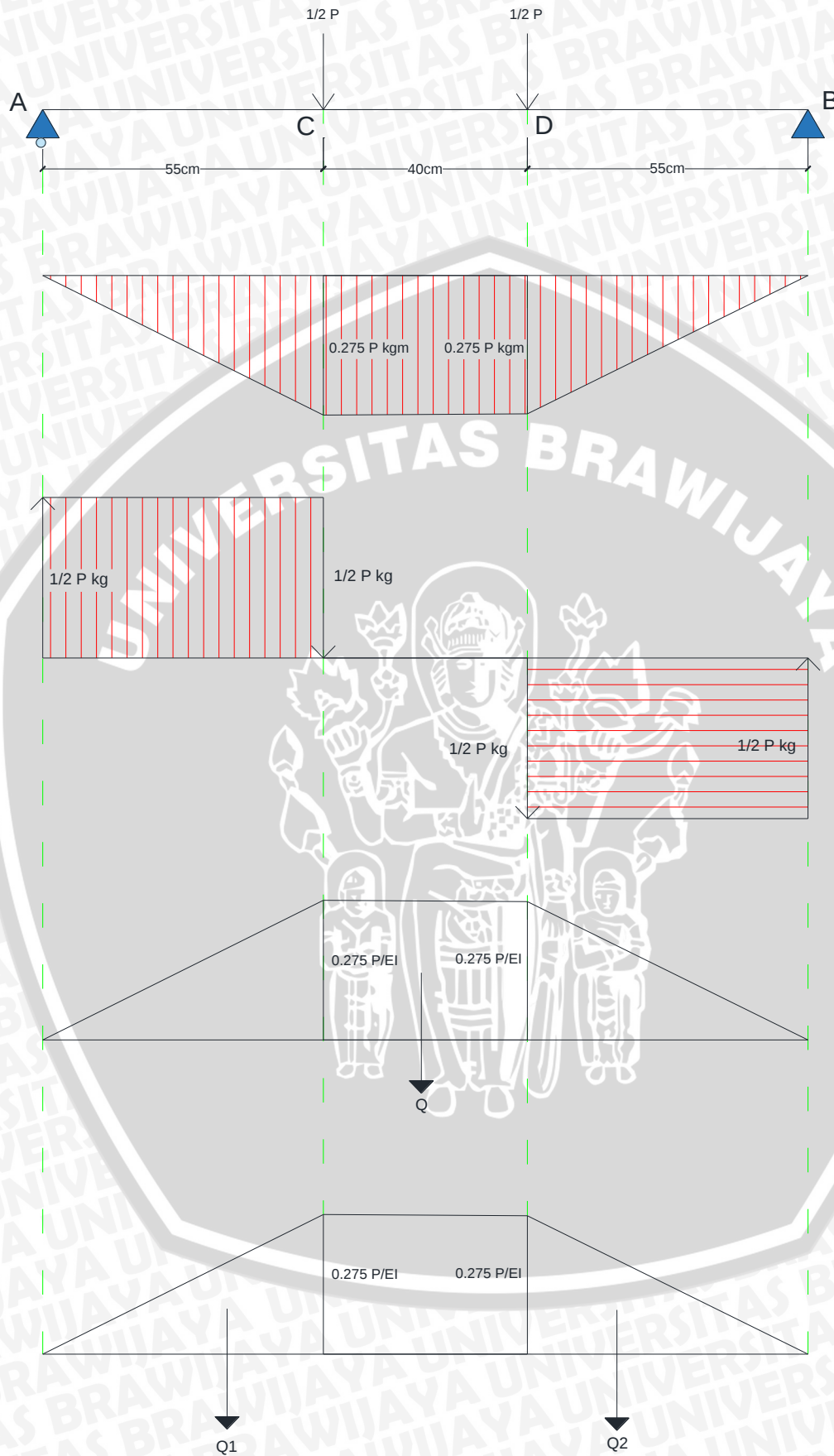
$$= 135689497265.24 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 135689.497 \text{ kg/m}^2$$

Untuk perhitungan benda uji yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama dan didapatkan nilai EI seperti pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan EI Beton

No.	Benda Uji	EI kg/m ²
1.	$A_1B_2C_2$	135689.497
2.	$A_2B_2C_1$	151854.432
3.	$A_2B_1C_2$	167582.601
4.	$A_1B_1C_1$	167780.446
5.	$A_0B_2C_1$	130392.969
6.	Beton Normal	205544.634



Gambar 4.9 Momen dan bidang *conjugate*

$$\begin{aligned}
 Q &= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,55 \times \frac{0,275 P}{EI} \right) + \left(0,4 \times \frac{0,275 P}{EI} \right) \\
 &= 2 \times \frac{121 P}{1600 EI} + \frac{11 P}{100 EI} \\
 &= \frac{11 P}{100 EI} \times \left(\frac{11}{8} + 1 \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum MB &= 0 \\
 &= (RA' \times 1,5) - \left(Q \times \frac{1}{2} \times 1,5 \right) \\
 &= (RA' \times 1,5) - \left(\left(\frac{11 P}{100 EI} \times \left(\frac{11}{8} + 1 \right) \right) \times \frac{1}{2} \times 1,5 \right)
 \end{aligned}$$

$$1,5 RA' = \frac{627 P}{3200 EI}$$

$$RA' = \frac{209 P}{1600 EI}$$

$$\begin{aligned}
 Q_1 = Q_2 &= \left(\frac{1}{2} \times 0,55 \times \frac{0,275 P}{EI} \right) \\
 &= \frac{121 P}{1600 EI}
 \end{aligned}$$

Mkonjugate ditengah bentang x= 75 cm didapatkan :

$$\begin{aligned}
 M &= (RA \times 0,75) - (Q_1 \times (0,75 - \frac{2}{3} \times 0,55)) - (0,5 \times (0,4 \times \frac{0,275 P}{EI}) \times (0,5 \times 0,2)) \\
 &= \left(\left(\frac{209 P}{1600 EI} \right) \times 0,75 \right) - \left(\left(\frac{121 P}{1600 EI} \right) \times \frac{23}{60} \right) - \frac{11 P}{2000 EI} \\
 &= \left(\frac{627 P}{6400 EI} \right) - \left(\frac{2783 P}{96000 EI} \right) - \frac{11 P}{2000 EI} \\
 &= \frac{3047 P}{48000 EI}
 \end{aligned}$$

Sehingga persamaan lendutan di tengah bentang untuk x = 75 cm adalah :

$$\Delta = \frac{3047 P}{48000 EI}$$

dengan:

P = Beban maksimum (kg)

L = Panjang bentang balok (m)

E = Modulus elastisitas beton (kg/m²)

I = Inersia penampang balok (m⁴)

Dari penjelasan rumus tersebut maka dapat dihitung nilai lendutan (Δ) masing – masing benda uji balok, baik balok dengan penambahan serat, balok kontrol tanpa ada penambahan serat, maupun beton normal. Lendutan yang didapat dari proses perhitungan ini dibandingkan dengan lendutan aktual yang terjadi ketika balok masih dalam kondisi elastis Hasil perhitungan diperlihatkan dalam Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 *Perbandingan Nilai Lendutan Aktual dan Teoritis*

No.	Benda Uji	P Elastis (kg)	Lendutan (mm)			KR%
			Aktual	Rata-Rata aktual	Teoritis	
1.	A ₁ B ₂ C ₂	1	0.27			
		2	0.19	0.27	0.09	65.95
		3	0.34			
2.	A ₂ B ₂ C ₁	1	0.31			
		2	0.395	0.32	0.08	73.29
		3	0.24			
3.	A ₂ B ₁ C ₂	1	0.3			
		2	0.265	0.26	0.07	72.13
		3	0.215			
4.	A ₁ B ₁ C ₁	1	0.45			
		2	0.57	0.44	0.07	83.12
		3	0.3			
5.	A ₀ B ₂ C ₁	1	0.51	0.51	0.09	81.12
6.	Beton Normal	1	0.27	0.27	0.07	75.61

Terlihat perbedaan antara hasil perhtungan lendutan teoritis dan aktual. Nilai lendutan secara teoritis jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan lendutan pada kondisi aktual. Perbedaan tersebut cukup signifikan, karena bisa saja diakibatkan karena kekakuan balok pada saat eksperimen dan teoritis berbeda. Secara teoritis balok diasumsikan sebagai bahan yang benar-benar monolit, sedangkan pada kenyataan dilapangan hal tersebut sangat sulit sekali dikontrol. Hal ini dikarenakan dalam sebuah material balok terdiri dari lebih satu macam bahan, yang mengakibatkan material satu dengan yang lain menjadi kurang homogen lekatannya.

Banyaknya kadar serat tidak terlalu berpengaruh terhadap lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena pengaruh rasio tulangan yang cukup besar. Gaya slip pada tulangan yang sulit diprediksi membuat banyaknya kadar serat menjadi kurang dominan. Akan tetapi hasil lendutan ini juga bisa membuktikan bahwa lendutan aktual yang terjadi pada beton dengan penambahan serat jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan beton tanpa ada penambahan serat. Balok beton ringan yang tidak diberi serat memiliki lendutan yang paling besar diantara balok beton ringan yang lain. Nilai rata-rata lendutan pada balok dengan penambahan serat relatif mendekati dengan nilai lendutan beton normal.

4.5.2 Perhitungan Kekakuan Balok

Kekakuan suatu struktur adalah gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan defleksi sebesar satu satuan dimana merupakan tangen sudut antara beban (P) dan lendutan (Δ) yang diperoleh dari grafik hubungan $P - \Delta$. Pada dasarnya hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) dari balok beton bertulang dapat diklasifikasikan dalam tiga tahap sebelum beton benar-benar dalam kondisi runtuh. Tahapan tersebut diantaranya adalah praretak dimana elemen struktural masih belum retak, pascaretak di mana elemen struktural sudah mengalami retak namun masih dapat ditoleransi, dan yang terakhir adalah pasca-*serviability* dimana tulangan tarik pada elemen struktural tersebut sudah tidak mampu menahan gaya yang bekerja.

Kekakuan yang akan dibandingkan dalam penelitian ini adalah kekakuan balok pada saat masih dalam kondisi elastis penuh yang dapat diidentifikasi pada kemiringan grafik hubungan beban (P) dan lendutan (Δ). Perhitungan teoritis didapatkan dari persamaan berikut :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana,

k = nilai kekakuan kg/mm

P = Besar beban pada saat kondisi elastis (kg)

Δ = lendutan yang terjadi (mm)

Selanjutnya nilai k teoritis dan aktual untuk setiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Kekakuan Balok

No	Benda Uji	P elastis (kg)	Kekakuan (kg/mm)			KR%
			Aktual	Rata-Rata aktual	Teoritis	
1	A ₁ B ₂ C ₂	1	740.74	793.87	2202.79	63.96
		2	1052.63			
		3	588.24			
2	A ₂ B ₂ C ₁	1	645.16	661.61	2377.22	72.17
		2	506.33			
		3	833.33			
3	A ₂ B ₁ C ₂	1	666.67	783.87	2760.21	71.60
		2	754.72			
		3	930.23			
4	A ₁ B ₁ C ₁	1	444.44	487.33	2692.68	81.90
		2	350.88			
		3	666.67			
5	A ₀ B ₂ C ₁	1	392.16	392.1569	2174.59	81.97
6	Beton Normal	1	740.74	740.7407	3036.70	75.61

Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil perhitungan teoritis dan aktual. Kekakuan teoritis jauh lebih besar dibandingkan dengan kekakuan pada percobaan eksperimen. Ini terjadi karena nilai lendutan yang terjadi pada kondisi aktual lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa material pada saat perhitungan teoritis dianggap sebagai sebuah kesatuan monolit. Namun dalam kenyataannya beton yang terdiri dari berbagai material tidak bisa lekat secara sempurna sehingga membuat nilai lendutan balok menjadi berbeda. Perbedaan inilah yang membuat nilai kekakuan antara aktual dan teoritis berbeda. Karena pada dasarnya bahwa kekakuan berbanding terbalik dengan lendutan. Semakin kecil lendutan yang terjadi maka kekakuan yang dimiliki oleh balok akan menjadi besar, begitu juga dengan sebaliknya. Dari perhitungan kekakuan masing-masing benda uji, diperoleh nilai rata-rata kekakuan balok beton ringan tanpa penambahan serat secara aktual maupun teoritis lebih kecil dibandingkan dengan benda uji lain, baik beton ringan dengan penambahan serat maupun dengan beton normal.

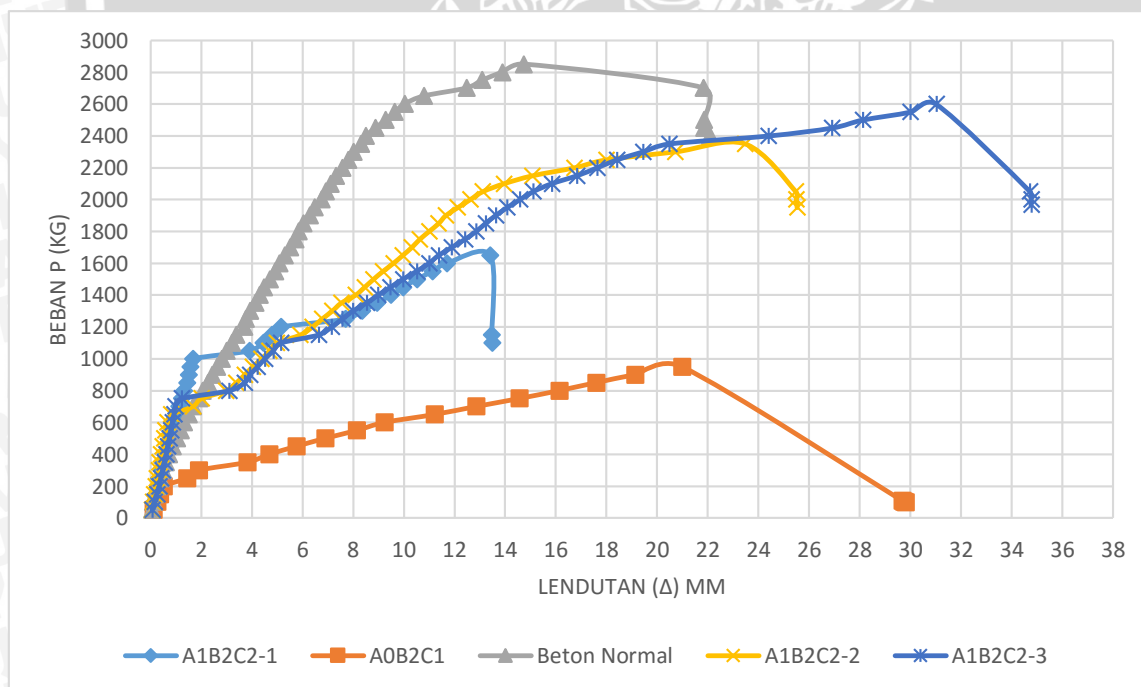
4.5.3 Grafik Hubungan P – Δ

Tiap material, khususnya material bangunan setidaknya punya karakteristik yang berbeda jika diberi gaya (beban). Ada yang kuat jika ditekan tapi hancur jika ditarik. Ada

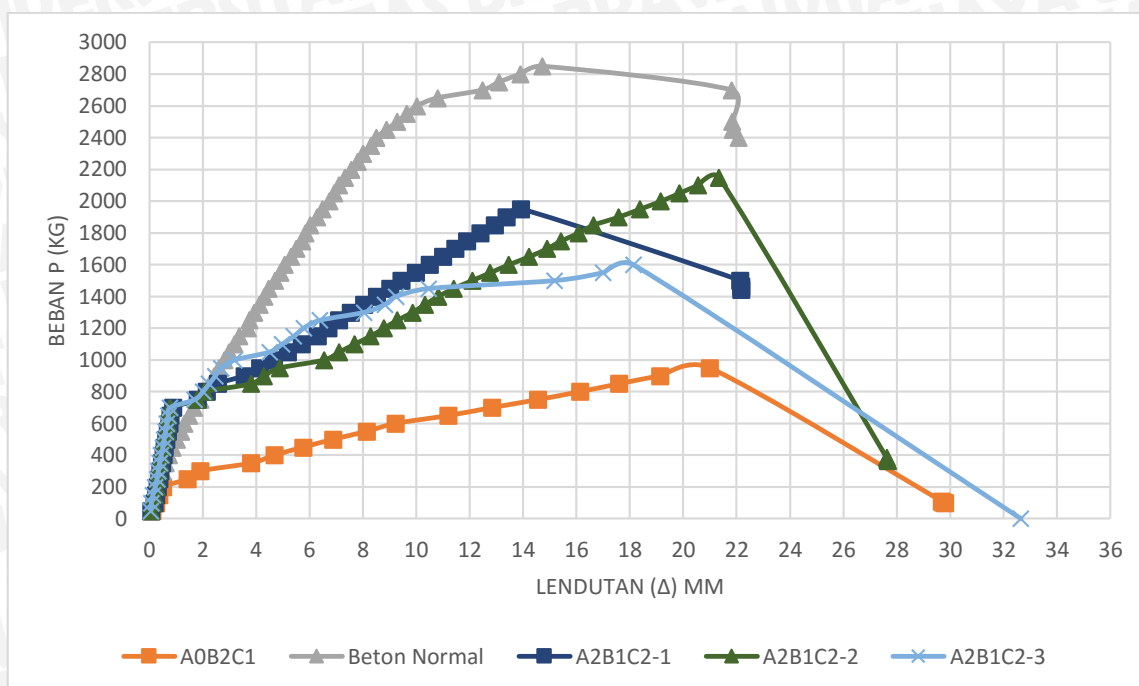
yang kuat jika ditarik, tapi tidak ada apa-apanya jika ditekan, ada juga yang kuat jika ditarik dan ditekan.

Pada hubungan $P - \Delta$ menunjukkan nilai kekakuan suatu struktur dimana dapat diklasifikasikan dalam 3 tahap sebelum terjadinya runtuh. Yang pertama adalah tahap praretak, biasanya material (dalam penelitian ini adalah balok beton) jika diberi gaya (ditarik, ditekan, atau dilenturkan), material tersebut memanjang, memendek, atau bengkok (berdeformasi). Kemudian gaya tersebut dihilangkan, dan material tersebut masih bisa kembali ke bentuk dan ukuran semula (elastis). Tahap yang kedua adalah praretak, retak akan muncul pada tahap ini dan mengakibatkan suatu kondisi bilamana gaya ditambah besarnya, akan tetapi balok beton tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk semula (plastis). Dan kondisi yang terakhir adalah tahap pasca-*serviability*, tahap dimana tulangan tarik sudah mencapai tegangan izinnya, atau dengan kata lain struktur sudah kehilangan kemampuan layannya dalam menahan suatu beban.

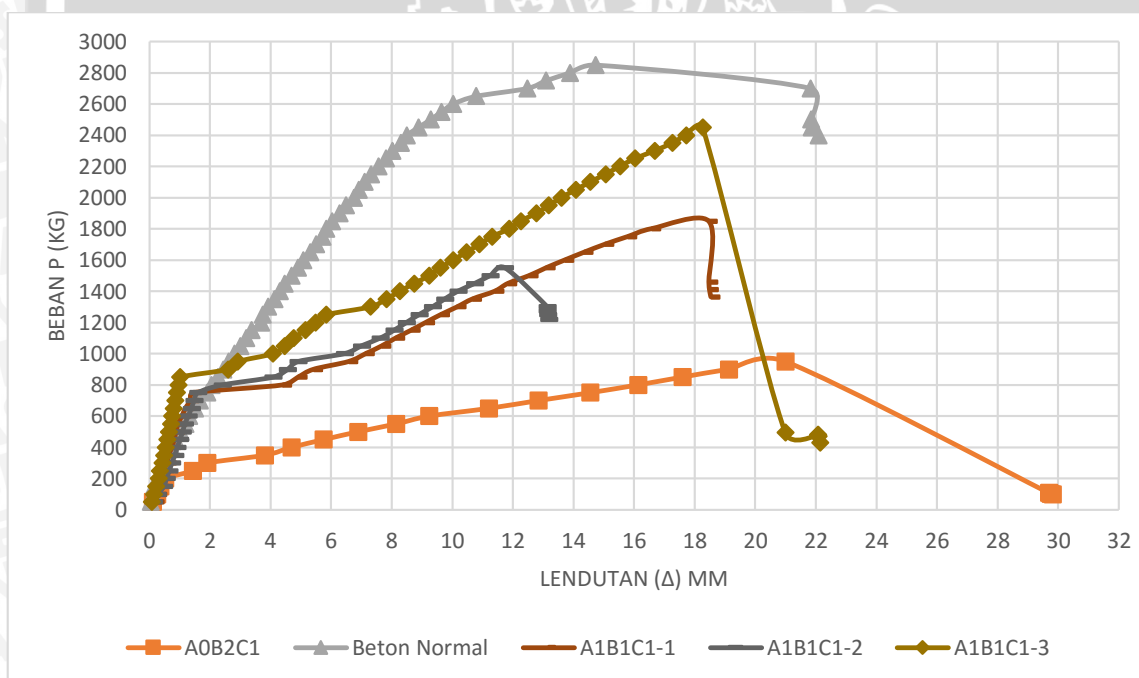
Dalam sub bab ini akan ditampilkan perbandingan grafik hubungan $P - \Delta$ pada masing-masing benda uji pada percobaan aktual.



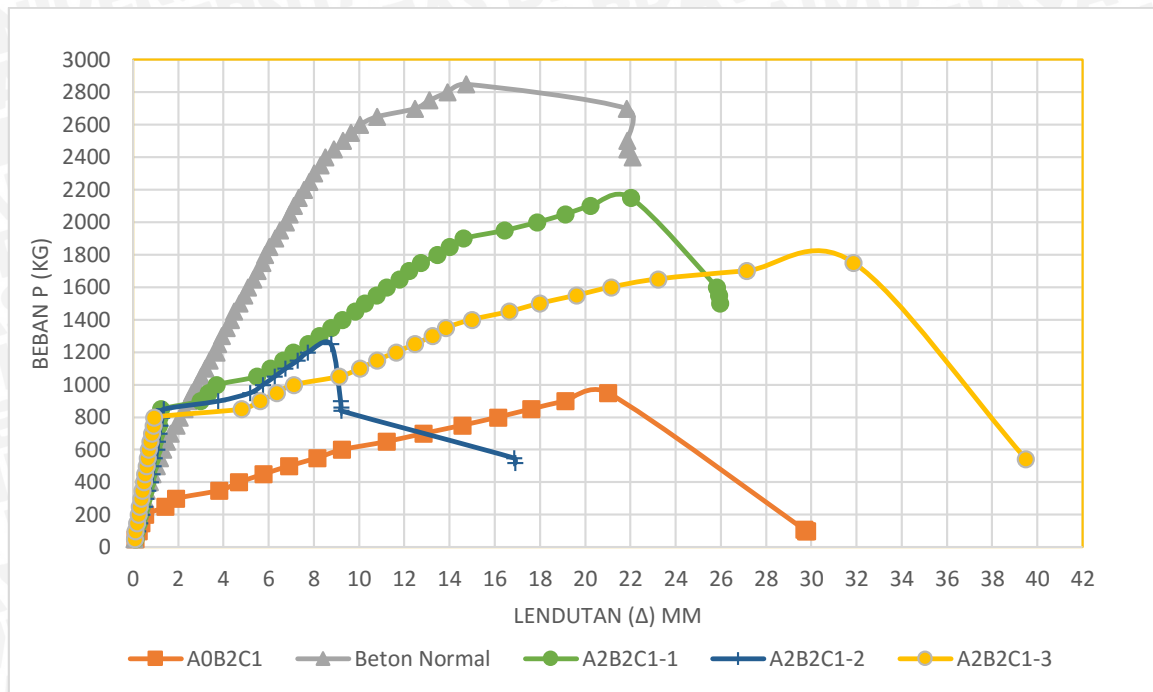
Gambar 4.10 Grafik perbandingan $P - \Delta$ balok A1B2C2, A0B2C1, dan beton normal



Gambar 4.11 Grafik perbandingan P – Δ balok A₂B₁C₂, A₀B₂C₁, dan beton normal



Gambar 4.12 Grafik perbandingan P – Δ balok A₁B₁C₁, A₀B₂C₁, dan beton normal



Gambar 4.13 Grafik perbandingan P – Δ balok A₂B₂C₁, A₀B₂C₁, dan beton normal

Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa rata-rata grafik balok beton ringan dengan penambahan serat bambu berada di atas balok kontrol tanpa penambahan serat dan di bawah beton normal. Hal ini menandakan bahwa penambahan serat dapat meningkatkan kekuatan beton, akan tetapi kekuatannya masih di bawah beton normal. Beton normal yang menggunakan tulangan baja memiliki tegangan lelehnya tinggi sehingga regangan maksimumnya besar, jadi beban elastis yang dapat dicapai oleh beton normal sangat tinggi mencapai 2600 kg. Beban elastis yang dapat dicapai oleh beton dengan penambahan serat lebih tinggi daripada beton ringan yang tidak ditambahkan serat. Dapat dilihat pada grafik ditandai dengan besarnya gaya yang berbanding lurus dengan besarnya deformasi. Semakin besar gaya vertikal yang diberikan, semakin besar pula penambahan lendutannya. Beton ringan yang tidak ditambahkan serat (A₀B₂C₁) hanya dapat menahan beban sebesar 200 kg saja. Sedangkan balok beton ringan dengan penambahan serat, rata-rata dapat menahan beban sebesar 700 kg hingga 833 kg sebelum beton mengalami retak untuk pertama kali. Itu berarti penambahan serat efektif dalam mencegah timbulnya retak-retak awal pada beton. Hal ini diakibatkan karena beton mengandung serat sehingga terdapat ikatan-ikatan pada mortarnya.

Setelah melewati tahap praretak yaitu pada daerah elastis, beton akan mengalami penurunan deformasi yang cukup drastis. Kondisi ini dinamakan kondisi plastis, dimana saat balok tersebut ditambah beban, balok sudah tidak bisa kembali ke bentuk semula. Sehingga

pada grafik hubungan $P - \Delta$ sudah menyimpang jauh dari linear. Tahap pascaretak terjadi pada kondisi ini. Respons non-linier disebabkan oleh dua hal utama, yaitu munculnya keretakan beton pada daerah tarik dan tulangan bambu mengalami slip. Diberi tambahan gaya sedikit saja, deformasinya bisa bertambah berlipat-lipat kali dari deformasi elastis.

Bila dilihat dari grafik, terdapat beberapa balok dengan penambahan serat yang memiliki daktilitas yang cukup tinggi, seperti pada benda uji $A_1B_2C_2-2$, $A_1B_2C_2-3$, $A_2B_1C_2-2$, dan $A_2B_2C_1-3$. Balok yang memiliki daktilitas tinggi berarti mampu mengembangkan regangannya dari pertama kali dia memasuki daerah plastis, hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan. Namun ada juga balok dengan penambahan serat yang memiliki daktilitas cukup rendah bahkan di bawah beton yang tidak ditambahkan serat, seperti pada benda uji $A_1B_2C_2-1$, $A_1B_1C_1-2$, dan $A_2B_2C_1-2$. Perbedaan gaya slip tulangan bambu yang terjadi di dalam balok menjadi penyebab hal tersebut bisa terjadi. Beton yang memiliki daktilitas tinggi berarti lekatan antara tulangan bambu dan beton cukup kuat, sehingga berakibat pada peningkatan tegangan slip bambu tersebut. Begitu juga sebaliknya, kekasaran bambu yang kurang akan membuat lekatan antara bambu dengan beton menjadi kecil, dan menyebabkan daktilitas beton menjadi rendah. Sulitnya memprediksi gaya slip yang terjadi pada balok adalah faktor yang sangat mempengaruhi daktilitas dari balok.

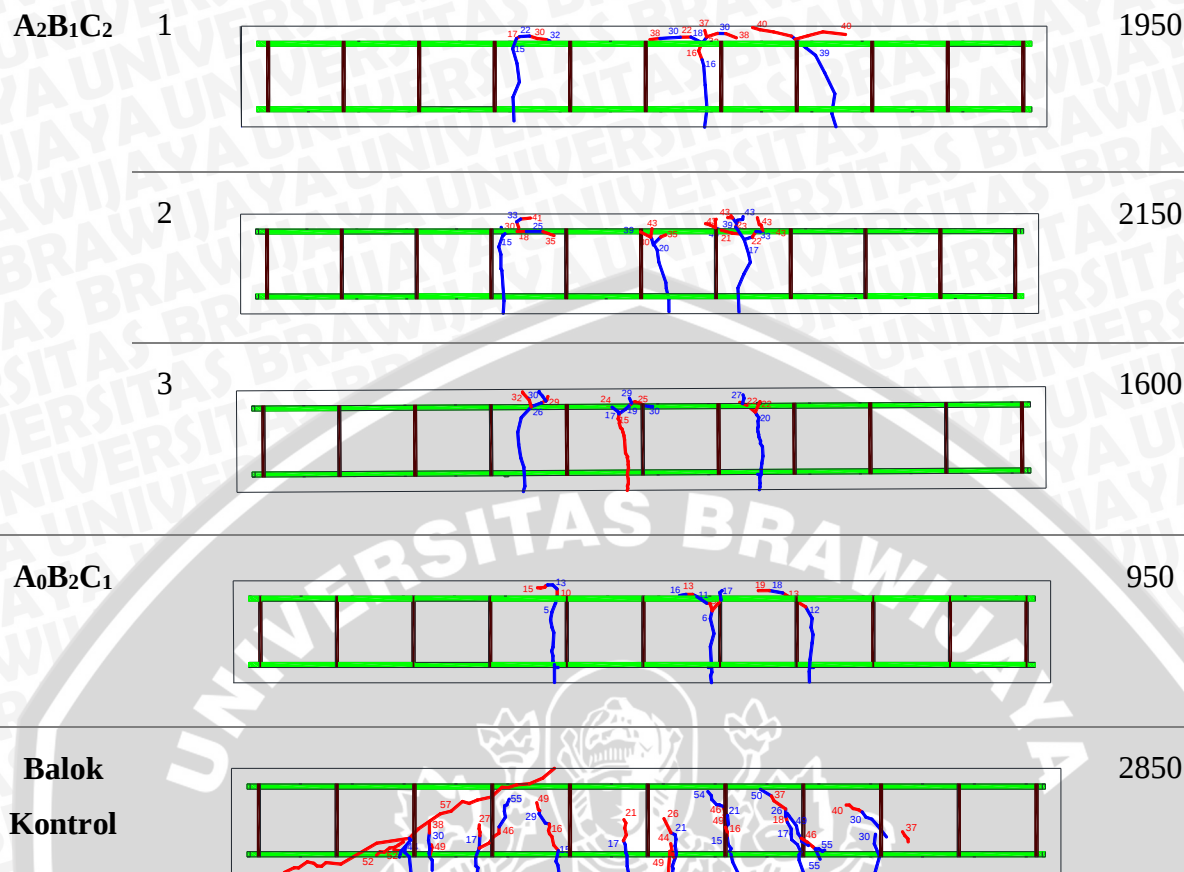
Keruntuhan balok ditunjukkan pada kondisi dimana beban yang sudah tidak bisa ditambahkan lagi sedangkan lendutannya terus bertambah. Beton normal memiliki beban maksimum yang paling besar mencapai 2850 kg dan beton ringan yang tidak ditambahkan serat ($A_0B_2C_1$) adalah yang paling kecil menerima beban yaitu sebesar 950 kg. Sedangkan beton dengan penambahan serat memiliki beban maksimum rata-rata yang bervariasi dari 1716 kg hingga 2200 kg. Untuk melihat beban maksimum yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.9 yang telah dicantumkan sebelumnya.

4.6 Korelasi Retak dengan Beban Maksimum

Pola retak dalam suatu elemen menggambarkan mekanisme kerja suatu struktur. Retak dapat terjadi karena adanya momen yang bekerja pada struktur tersebut. Berikut beberapa pola retak yang terjadi pada masing-masing benda uji balok.

Tabel 4.22 Tipe Pola Retak Benda Uji Balok

Benda Uji	Pola Retak	Pmaks (kg)
A ₁ B ₂ C ₂	1	1650
	2	2350
	3	2600
A ₂ B ₂ C ₁	1	2150
	2	1250
	3	1750
A ₁ B ₁ C ₁	1	1850
	2	1550
	3	2450



Pada awal pengujian, dimana saat balok masih dalam keadaan elastis, belum terjadi retakan pada balok. Namun, saat balok memasuki keadaan plastis, muncul retak untuk pertama kalinya. Retak yang terjadi adalah retak lentur. Pada kondisi ini tulangan bambu telah mengalami slip dan menyebabkan retak pada beton terus memanjang seiring dengan bertambahnya beban. Selain itu juga dikarenakan balok telah mengalami reduksi pada luas penampangnya. Terdapat korelasi antara jumlah retakan dan beban yang mampu ditahan oleh balok.

Tabel 4.23 *Beban Rata-Rata pada Jumlah Pola Retak*

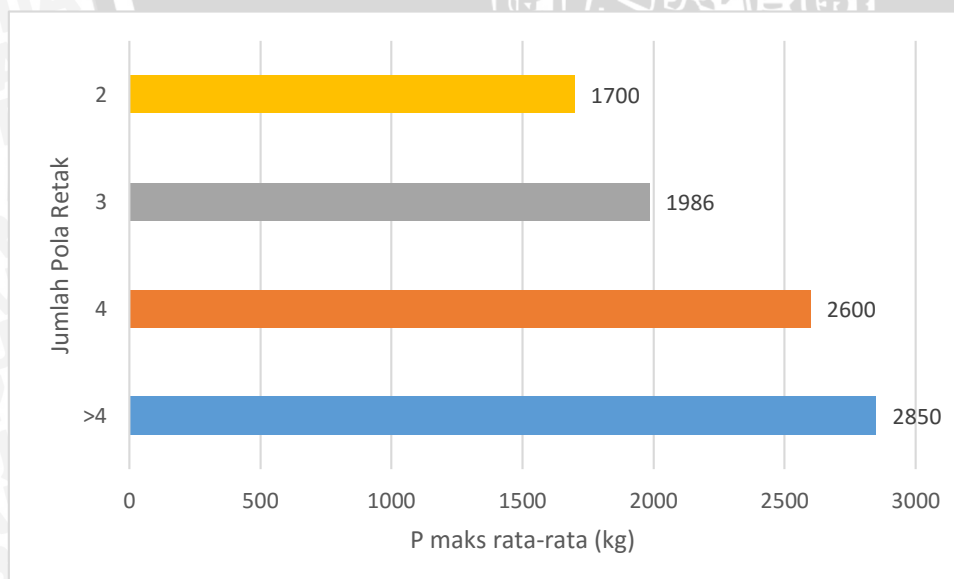
Jumlah Retak	P maks (kg)							P maks rata-rata (kg)
2	1650	2150	1250	1750				1700
3	2350	1850	1550	2450	1950	2150	1600	1986
4	2600							2600
>4	2850							2850

Dari tabel dapat diketahui jumlah pola retak yang terjadi pada benda uji. Balok yang dapat menahan beban yang besar ternyata memiliki jumlah retakan yang lebih banyak

daripada balok yang hanya dapat menahan beban lebih kecil. Terdapat korelasi antara jumlah pola retak dengan beban maksimum yang dapat ditahan. Jumlah retak itu menandakan besarnya gaya lekat yang terjadi pada tulangan bambu dengan beton. Tulangan bambu yang memiliki lekatan yang baik maka jumlah retaknya semakin banyak. Karena energi yang dibutuhkan lebih besar untuk beton yang memiliki jumlah retak yang banyak.

Pengaruh serat tidak terlalu berpengaruh pada jumlah retak yang terjadi. Hanya saja pada balok dengan penambahan serat memiliki kemampuan menahan retak-retak awal yang terjadi pada balok. Sehingga retak awal pada balok beton ringan dengan penambahan serat muncul pada beban yang lebih besar daripada balok beton ringan yang tidak ditambahkan serat, seperti yang dapat dilihat pada grafik hubungan $P - \Delta$ yang telah dicantumkan sebelumnya.

Oleh karena itu kekasaran bambu memiliki pengaruh yang besar terhadap tipe keruntuhan yang terjadi. Semakin kasar permukaan bambu, maka slip akan terjadi secara *continue* sehingga pola retak akan semakin menyebar. Sedangkan balok dengan permukaan bambu yang cenderung lebih halus maka slip akan terjadi secara bersamaan dan kapasitas balok akan menjadi semakin lebih kecil. Pada tulangan bambu ini, kekuatannya tidak bisa hanya mengandalkan pada kekuatan bambunya saja, tetapi justru terhadap kekuatan daya lekatannya yaitu antara bambu dengan beton.



Gambar 4.14 Grafik hubungan jumlah pola retak dengan P maks

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah retak yang terjadi maka semakin besar pula beban yang dapat ditahan oleh balok.

4.7 Analisa Statistik

Perhitungan analisis statistik dilakukan untuk membuat keputusan, apakah keputusan menolak atau menerima hipotesis yang sedang diuji. Pengujian statistik tidak bisa digunakan sebagai patokan untuk menentukan benar atau salah suatu percobaan yang dilakukan. Keputusan yang diambil bisa benar dan juga bisa saja salah, sehingga menyebabkan timbulnya resiko dalam pembuatan keputusan. Besar kecilnya resiko dinyatakan dalam nilai probabilitas. Pada penelitian ini digunakan rancangan faktorial sebagian (2^{k-1}) yang berarti ada beberapa pengaruh interaksi yang diabaikan.

4.7.1 Uji Anova

Pengujian dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari variable bebas (penambahan serat bambu) terhadap variabel tak bebas/terikat (kuat lentur) terhadap balok beton bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*. Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan tabel Anova. Berikut adalah kriteria pengujian analisis anova:

H_0 = Tidak terdapat pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*.

H_1 = Terdapat pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*.

n = 3 (jumlah benda uji setiap perlakuan)

a = 2 (taraf)

k = 3 (faktor utama)

Tabel 4.24 Data Analisis Statistik untuk Kuat Lentur Masing-Masing Benda Uji

Variasi	A ₁		A ₂		Total
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂	
C ₁	1850			2150	
	1550			1250	
	2450			1750	
C ₂		1650	1950		
		2350	2150		
		2600	1600		
Jumlah	5850	6600	5700	5150	23300

Kontras

$$\begin{aligned}
 \text{Kontras A} &= (A_2B_1C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_2C_2 + A_1B_1C_1) \\
 &= (5850 + 5150) - (6600 + 5850) \\
 &= -1600
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total

$$\begin{aligned}
 \text{JKT} &= \sum y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{\text{banyak pengamatan}} \\
 &= 1850^2 + 1550^2 + \dots + 1750^2 - \frac{23300^2}{12} \\
 &= 1824166.667
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Pengaruh

$$\begin{aligned}
 \text{JKA} &= \frac{(\text{kontras A})^2}{2^{k-1} \cdot n} \\
 &= \frac{1600^2}{2^{3-1} \times 3} = 213333
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKA} \\
 &= 1824166.667 - 213333 \\
 &= 1610833
 \end{aligned}$$

Derajat Bebas

- Derajat Bebas Pengaruh A (DB (A))
 $\text{DB (A)} = A - 1$, dimana A adalah jumlah taraf pengaruh A
 Jadi, $\text{DB (A)} = 2 - 1 = 1$
- Derajat Bebas Total (DB (T))
 $\text{DB (T)} = \text{banyaknya pengamatan} - 1$,
 Jadi, $\text{DB (T)} = 12 - 1 = 11$
- Derajat Bebas Galat (DB (G))
 $\text{DB (G)} = \text{DB Galat} - \text{DB Perlakuan}$
 Jadi, $\text{DB (G)} = 11 - 1 = 10$

Kuadrat Tengah

$$\begin{aligned} \text{KT (A)} &= \frac{JK (A)}{DB (A)} \\ &= \frac{213333}{1} \\ &= 213333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KT (G)} &= \frac{JK (G)}{DB (G)} \\ &= \frac{1610833}{10} \\ &= 161083.33 \end{aligned}$$

F – hitung

$$\begin{aligned} \text{F – hitung (A)} &= \frac{\text{KT (A)}}{\text{KT (G)}} \\ &= \frac{213333}{161083.33} \\ &= 1,32 \end{aligned}$$

Tabel 4.25 Hasil Uji Anova

Perilaku	JK	DB	KT	f - hitung	f - tabel	
					5%	28%
A (Serat Bambu)	213333.33	1	213333.33	1.32	4.96	1.30
Galat	1610833.33	10	161083.33			
Total	1824166.67	11				

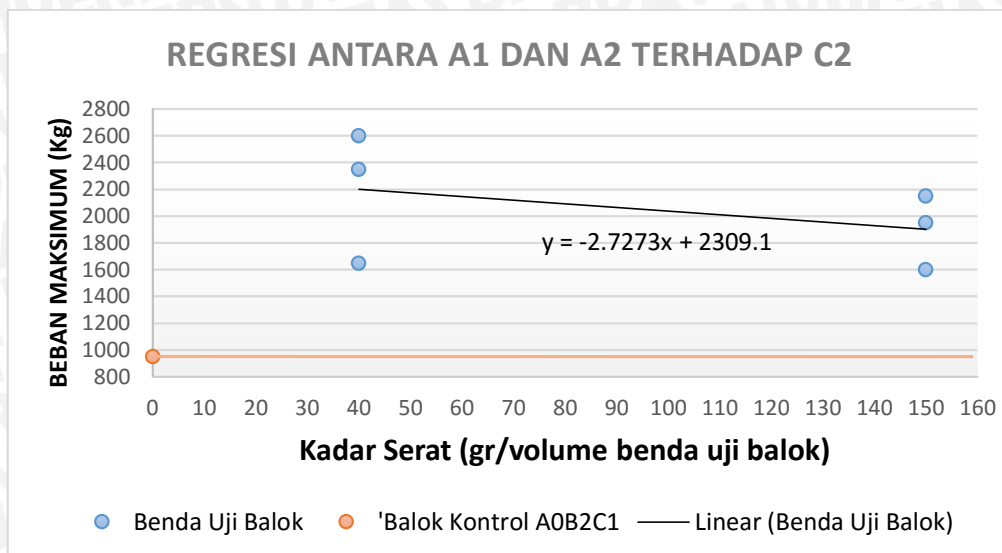
Untuk menentukan keputusan diterimanya hipotesis penelitian ini dapat dilihat pada nilai f – hitung pada tabel anova yang dibandingkan dengan f – tabel. Berdasarkan hasil perhitungan uji anova didapatkan nilai f – hitung dari pengaruh serat bambu (A) lebih kecil dari f –tabel pada resiko kesalahan 5 % ($\alpha=5\%$). Ini berarti pengaruh serat tidak nyata karena nilai f – hitung yaitu sebesar 1.32 masih jauh dari nilai f –tabel yang besarnya 4.96. Deviasi di dalam kelompok yang terlalu besar menyebabkan pengaruh antar kelompok memiliki pengaruh yang kecil. Banyak faktor yang menyebabkan deviasi di dalam kelompok menjadi besar. Pelaksanaan yang kurang ketat, kurang teliti dalam membaca dan mengukur hasil pengujian, serta kekuatan lekatan bambu yang tidak sama. Kekuatan lekatan ini akan menentukan besarnya gaya slip yang terjadi pada tulangan bambu dan beton. Semakin kasar permukaan bambu maka lekatan bambu dan beton akan semakin baik, sehingga balok memiliki kekuatan yang lebih besar. Namun bila permukaan bambu cenderung kurang kasar atau lebih halus, maka yang terjadi adalah kekuatan balok menjadi lebih rendah karena tulangan bambu tidak akan bisa bekerja maksimal apabila sudah mengalami slip di dalam beton. Sangat sulit untuk mengetahui secara pasti kekuatan lekatan bambu di dalam beton.

Oleh karena itu dalam satu jenis benda uji yang sama, bisa jadi memiliki kekuatan lekatan bambu yang berbeda walaupun perlakuan yang diberikan terhadap masing-masing benda uji adalah sama. Ini menyebabkan muncul faktor lain yang tidak sengaja divariasikan dalam percobaan dan memiliki pengaruh yang besar, yaitu lekatan bambu dengan beton. Selain itu, dalam pengujian statistik ini balok tanpa penambahan serat dan beton normal, tidak dimasukkan dalam uji anova. Karena kedua balok memang tidak masuk di dalam rancangan setengah faktorial pada penelitian ini. Balok tersebut hanya sebagai balok kontrol untuk membandingkan saja.

Namun pada dasarnya serat memiliki pengaruh terhadap kuat lentur, hanya saja pengaruh tersebut baru terlihat pada tingkat kepercayaan sebesar 72% yang berarti memiliki resiko kesalahan 28% ($\alpha=28\%$). Pada $\alpha=28\%$, nilai f -hitung lebih besar daripada f -tabel. Yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh terhadap penambahan serat bambu pada kuat lentur balok beton bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*. Akan tetapi pengaruh penambahan serat bambu tidak signifikan dikarenakan pengaruhnya baru terlihat pada resiko kesalahan sebesar 28% ($\alpha=28\%$).

4.7.2 Uji Regresi

Uji regresi ini dilakukan untuk melihat tren pada pengaruh serat dengan membandingkan beban maksimum tiap benda uji dengan tingkat tarafnya. Pengujian ini dapat menghasilkan sebuah persamaan regresi dalam bentuk linier, polinomial atau eksponensial. Sehingga dapat dipilih bentuk regresi terbaik untuk analisa percobaan ini. Dalam uji regresi ini akan dibedakan antara tulangan yang memiliki rasio tinggi (C_1) dan tulangan yang memiliki rasio tulangan rendah (C_2). Karena faktor C yaitu rasio tulangan, memiliki pengaruh yang cukup besar, sehingga akan memberikan pengaruh penambahan serat (A) menjadi tidak terlihat. Oleh karena itu grafik uji regresi akan ditampilkan dalam dua grafik yang berbeda.

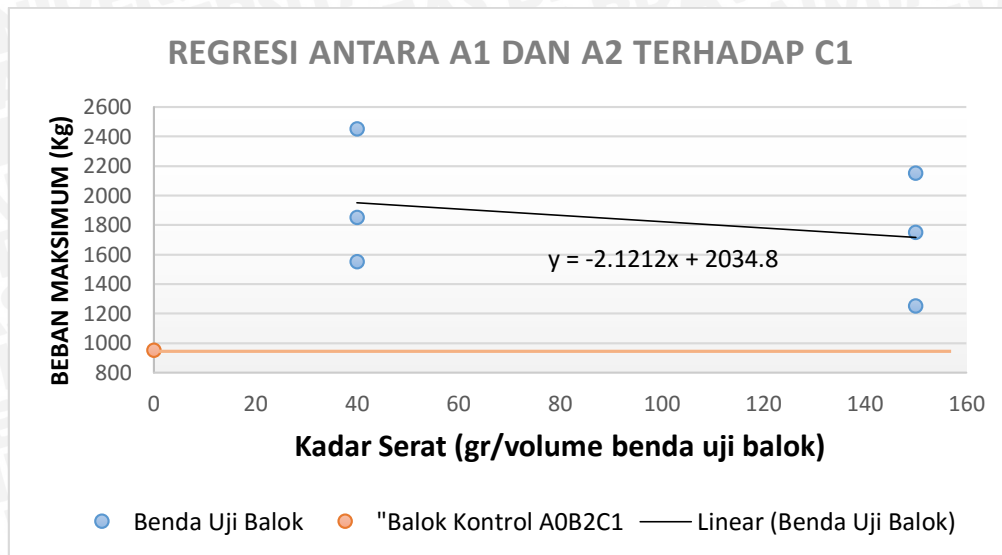


Gambar 4.15 Hubungan regresi untuk benda uji $A_1B_2C_1$ dan $A_2B_1C_1$

Grafik regresi di atas mengabaikan pengaruh rasio komposisi dan dilihat pada tulangan rasio rendah (C_1). Terdapat hubungan antara penambahan kadar serat yang diberikan terhadap beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Tren garis linier yang menurun menandakan bahwa penambahan serat bambu pada kadar tinggi (150 gr) akan memberikan penurunan terhadap beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Akan tetapi apabila dilihat dari garis benda uji balok kontrol, kadar serat rendah (40 gr) merupakan titik maksimum. Itu artinya pada kadar 40 gr inilah penambahan serat memiliki pengaruh yang optimum terhadap kuat lentur.

Sama halnya dengan regresi di atas, pada Gambar 4.16 di bawah yang mengabaikan pengaruh rasio komposisi dan dilihat pada tulangan rasio tinggi (C_2), terjadi tren yang serupa pada grafik regresi hubungan beban maksimum dengan kadar penambahan serat. Penambahan serat dengan kadar tinggi (150 gr) akan menurunkan beban maksimum yang dapat ditahan balok. Dan penambahan serat bambu kadar rendah (40 gr) merupakan titik yang paling optimum.

Untuk mengetahui beban maksimum rata-rata pada masing-masing jenis benda uji, dapat dihitung dengan memasukkan nilai kadar penambahan serat pada persamaan linier yang ada pada grafik.



Gambar 4.16 Hubungan regresi untuk benda uji A₁B₁C₂ dan A₂B₂C₂



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat pengaruh pada penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*. Penambahan serat bambu mampu meningkatkan kuat lentur balok dengan nilai rata-rata kuat lentur maksimum yang dapat dicapai oleh beton *pumice* dengan penambahan serat bambu 40 gr, 150 gr, beton *pumice* tanpa serat, dan beton normal berturut-turut sebesar 2075 kg, 1808 kg, 950 kg, dan 2850 kg. Nilai presentase kadar serat 40 gr merupakan kadar yang paling optimum dari penambahan serat yang didistribusikan secara acak dalam pengujian ini. Akan tetapi pengaruh serat bambu belum dapat dikatakan signifikan, karena pada uji analisis varians (anova) terhadap kuat lentur balok uji menunjukkan adanya pengaruh peningkatan kuat lentur pada tingkat kepercayaan sebesar 72% ($\alpha=28\%$). Sedangkan pada bidang teknik, resiko kesalahan yang dipakai agar pengaruh suatu faktor dapat dikatakan memiliki pengaruh yang signifikan adalah maksimum sebesar 5% ($\alpha=5\%$). Dalam penelitian ini didapatkan f-hitung, f-tabel $\alpha=5\%$, dan f-tabel $\alpha=28\%$ berturut-turut sebesar 1.32, 4.96, dan 1.30.

5.2 Saran

Berikut ini merupakan beberapa saran-saran yang berkaitan dengan penelitian penambahan serat bambu terhadap balok beton bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*:

1. Penelitian ini bisa dijadikan referensi, untuk selanjutnya variasi penambahan kadar serat dibuat lebih banyak. Sehingga didapatkan pengaruh serat secara lebih detail.
2. Dalam pengujian *pull-out*, alat dan metode yang akan dilakukan harus dipersiapkan dengan baik agar didapatkan data yang akurat. Karena metode yang baik ditunjang dengan pelaksanaan yang benar akan menghasilkan data uji *pull-out* yang benar.

3. Variasi untuk mutu beton direncanakan dengan rentang yang lebih jauh sedangkan variasi serat bambu direncanakan dengan interval yang lebih dekat agar didapatkan hasil yang lebih kontras sehingga pengaruh dalam penelitian lebih signifikan.
4. Dalam pelaksanaan, penaburan serat harus diperhatikan agar serat dapat didistribusikan secara merata di dalam beton.
5. Perlu diadakan praktikum yang lebih detail dalam menentukan jenis dan panjang serat yang digunakan. Supaya terdapat pengaruh yang lebih luas dalam penambahan serat bambu pada beton.
6. Tulangan bambu yang digunakan harus benar-benar diperhatikan kekasarannya. Karena kinerja tulangan bambu sangat bergantung pada kekuatan lekatan antara bambu dengan beton.
7. Hendaknya komposisi yang digunakan dalam penelitian selanjutnya memiliki komposisi yang sama, agar pengaruh serat dapat dilihat dengan jelas.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 544. (1982). *State of the art report on fiber reinforced concrete -Report :* ACI 544 IR-82. Farmington Hills : American Concrete Institute.
- ACI Committee 544. (1988). *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete, (ACI 544.4R-88) (Reapproved 1999)*. Detroit, Michigan, USA: American Concrete Institute
- Anonim . (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. SNI 03-2461-2002, Badan Standarisasi Nasional.
- Annual Book of ASTM Standards. (2002). *Volume 04-02: Concrete and Aggregates*. West Conshohocken: ASTM International.
- Asroni, Ali. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- ASTM C33. (2002). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Annual Book of ASTM. USA.
- Balaguru, P.N., dan Shah, S.P. (1992). *Fiber Reinforced Cement Composites*. Singapore: Mc Graw-Hill International Edition
- Dewi, S. M. & Djakfar, L. (2011). *Statistika Dasar untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Frick, H. (2003). *Mekanika Teknik I : Statika & Kegunaannya*. Cetakan Kedelapan. Yogyakarta: Kanisius.
- Frick, H. (2004). *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Yogyakarta: Kanisius.
- Gaspersz, V. (1991). *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*. Bandung: Tarsito.
- Ghavami, K. (2004). *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, Cement & Concrete Composite*. *Journal Science and Direct Elsevier*. 27(2005): 637-649.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Mulyono, Tri. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Publishing.

- Myers, R. H. & Walpole, R. E. (1999). *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Edisi ke-4. Bandung: ITB.
- Nasution, A. (2009). *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Redika Aditama
- Nindyawati. (2014). Panel Dinding Beton Ringan Bertulang Bambu. *Disertasi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nurlina, S. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- Pathurahman, J. F. & Kusuma, D. A. (2003). Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton. *Dimensi Teknik Sipil*. V(I): 39-44
- PBI. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971*. Bandung: Dinas Pekerjaan Umum.
- Rivani A. & Maricar S. (2009). *Perilaku Dan Kapasitas Lentur Balok Beton Berserat Bambu*. Jurnal SMARTek, Vol. 7, No. 4
- Rochman, A. (2005). *Peningkatan Kinerja Tulangan Bambu Pada Balok Beton Bertulang Dengan Cara Perbaikan Kuat Lekat*. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UMS.
- Rusyanto, dkk. (2012). *Kajian Kuat Tarik Beton Serat Bambu*.
- Schodek, Daniel L. (1998). *Struktur*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Soroushian, P., and Bayasi, Z. (1987). *Concept of fiber reinforced concrete, Proceeding Of The International Seminar On Fiber Reinforced Concrete*. USA: Michigan State University
- Sudarmoko. (1990). *Beton Serat. Suatu Bentuk Beton Baru. Seminar Permasalahan Mekanika Bahan Di Indonesia*. Yogyakarta: Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada
- Suhardiman, Mudji. (2011). *Pengaruh Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. Jurnal Teknik Vol.1
- Suseno, H. (2010). *Bahan Bangunan untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.

- SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum
- Tjokrodimulyo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Walpole, Ronald E., Raymond H Myers. (1995). *Ilmu Peluang Dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuawan*, edisi ke-4. Bandung: ITB.
- Wang, C. K. dan Salmon, C. G. (1985). *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Wang, C. K. dan Salmon, C. G. (1985). *Desain Beton Bertulang Jilid 2*. Jakarta : Erlangga
- Wang, C. K., and Salmon, C. (1986). (Alih Bahasa oleh Ir. Binsar Hariandja), *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga,
- Winter & Wilson, A. H. (1993). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.



(halaman kosong)



LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Kapasitas Balok

➤ Untuk komposisi balok A2B2C1

Diketahui :

$$\begin{aligned} L &= 1540 \text{ mm} & d' &= 30 \text{ mm} \\ b &= 150 \text{ mm} & d &= 170 \text{ mm} \\ h &= 200 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\ f'_c &= 19,29 \text{ Mpa} & f_y &= 0,23 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$As = 2 \times \left[\frac{1}{2} \times (10 + 15) \right] \times 1540 = 77000 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$Cc = T$$

$$0,85 \times f'_c \times a \times b = As \times f_y$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{77000 \times 0,23}{0,85 \times 19,29 \times 150}$$

$$a = 7,306 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{7,306}{0,85}$$

$$c = 8,596 \text{ mm}$$

Kapasitas nominal :

$$Mn = T \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 77000 \times 0,23 \times \left(170 - \frac{7,306}{2} \right)$$

$$Mn = 2988696,9 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 298,870 \text{ kg}$$

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

$$P \text{ maks} = \frac{298,870 \times 2}{0,55}$$

$$P \text{ maks} = 1086,799 \text{ kg}$$

➤ Untuk komposisi balok A2B1C2

Diketahui :

$$\begin{aligned} L &= 1540 \text{ mm} & d' &= 30 \text{ mm} \\ b &= 150 \text{ mm} & d &= 170 \text{ mm} \\ d &= 200 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\ f'_c &= 20,903 \text{ Mpa} & f_y &= 0,3 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$As = 2 \times \left[\frac{1}{2} \times (20 + 10) \right] \times 1540 = 92400 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$Cc = T$$

$$0,85 \times f'c \times a \times b = As \times fy$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$a = \frac{92400 \times 0,3}{0,85 \times 20,903 \times 150}$$

$$a = 10,401 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,401}{0,85}$$

$$c = 12,237 \text{ mm}$$

Kapasitas nominal :

$$Mn = T \times (d - \frac{a}{2})$$

$$Mn = 92400 \times 0,3 \times (170 - \frac{10,401}{2})$$

$$Mn = 4568242 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 456,824 \text{ kgm}$$

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

$$P \text{ maks} = \frac{456,824 \times 2}{0,55}$$

$$P \text{ maks} = 1661,179 \text{ kg}$$

➤ Untuk komposisi balok A1B1C1

Diketahui :

$$L = 1540 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$d = 170 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$f'c = 20,390 \text{ Mpa}$$

$$fy = 0,37 \text{ Mpa}$$

$$As = 2 \times [\{2 \times (10 + 15)\} \times 1540] = 77000 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$Cc = T$$

$$0,85 \times f'c \times a \times b = As \times fy$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$a = \frac{77000 \times 0,37}{0,85 \times 20,39 \times 150}$$

$$a = 10,984 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,984}{0,85}$$

$$c = 12,922 \text{ mm}$$

Kapasitas nominal :

$$Mn = T \times (d - \frac{a}{2})$$

$$Mn = 77000 \times 0,37 \times (170 - \frac{10,984}{2})$$

$$Mn = 4697393 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 469,739 \text{ kg}$$

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

$$P \text{ maks} = \frac{469,739 \times 2}{0,55}$$

$$P \text{ maks} = 1708,143 \text{ kg}$$

➤ **Untuk komposisi balok A1B2C2**

Diketahui :

$$L = 1540 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$d = 170 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$f'c = 16,081 \text{ Mpa}$$

$$fy = 0,346 \text{ Mpa}$$

$$As = 2 \times \{2 \times (10 + 20)\} \times 1540 = 92400 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$Cc = T$$

$$0,85 \times f'c \times a \times b = As \times fy$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$a = \frac{92400 \times 0,346}{0,85 \times 16,081 \times 150}$$

$$a = 15,585 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{15,585}{0,85}$$

$$c = 18,336 \text{ mm}$$

Kapasitas nominal :

$$Mn = T \times (d - \frac{a}{2})$$

$$Mn = 92400 \times 0,346 \times (170 - \frac{15,585}{2})$$

$$Mn = 5183336,213 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 518,334 \text{ kg}$$

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

$$P \text{ maks} = \frac{518,334 \times 2}{0,55}$$

$$P \text{ maks} = 1884,85 \text{ kg}$$

➤ **Untuk komposisi balok A0B2C1**

Diketahui :

$$\begin{aligned} L &= 1540 \text{ mm} & d' &= 30 \text{ mm} \\ b &= 150 \text{ mm} & d &= 170 \text{ mm} \\ h &= 200 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\ f'_c &= 14,93 \text{ Mpa} & f_y &= 0,26 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$A_s = 2 \times [2 \times (10 + 20)] \times 1540 = 77000 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

$$0,85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{77000 \times 0,26}{0,85 \times 14,93 \times 150}$$

$$a = 10,532 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,532}{0,85}$$

$$c = 12,390 \text{ mm}$$

Kapasitas nominal :

$$M_n = T \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 77000 \times 0,26 \times \left(170 - \frac{10,532}{2} \right)$$

$$M_n = 3303264,475 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 330,326 \text{ kg}$$

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

$$P_{maks} = \frac{330,326 \times 2}{0,55}$$

$$P_{maks} = 1201,187 \text{ kg}$$

➤ **Untuk komposisi balok beton normal**

Diketahui :

$$\begin{aligned} L &= 1540 \text{ mm} & d' &= 30 \text{ mm} \\ b &= 150 \text{ mm} & d &= 170 \text{ mm} \\ h &= 200 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\ f'_c &= 16,808 \text{ Mpa} & f_y &= 240 \text{ Mpa} \\ A_s &= 339 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$Cc = T$$

$$0,85 \times f'c \times a \times b = As \times fy$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$a = \frac{339 \times 240}{0,85 \times 16,808 \times 150}$$

$$a = 37,965 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{37,965}{0,85}$$

$$c = 44,665 \text{ mm}$$

Kapasitas nominal :

$$Mn = T \times (d - \frac{a}{2})$$

$$Mn = 339 \times 240 \times (170 - \frac{37,965}{2})$$

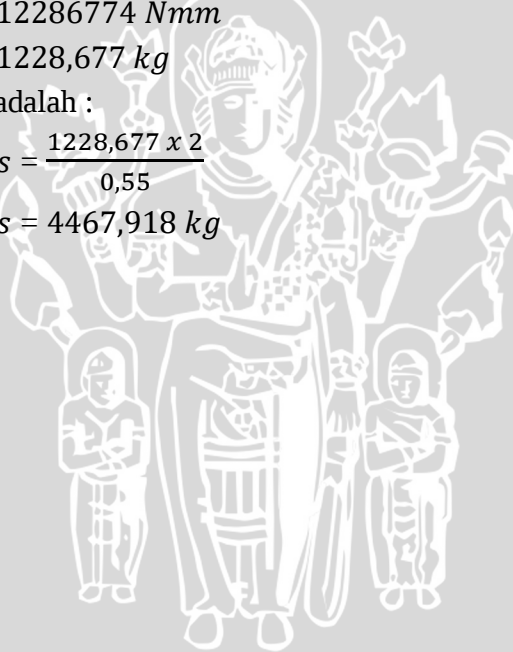
$$Mn = 12286774 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 1228,677 \text{ kg}$$

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

$$P \text{ maks} = \frac{1228,677 \times 2}{0,55}$$

$$P \text{ maks} = 4467,918 \text{ kg}$$



Lampiran 2 Hasil Pengujian Balok**➤ Balok A1B2C2 - 1**

Nama Benda Uji = A1B2C2 - 1

Tanggal Pengecoran = 21 April 2016

Tanggal Pengujian = 19 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

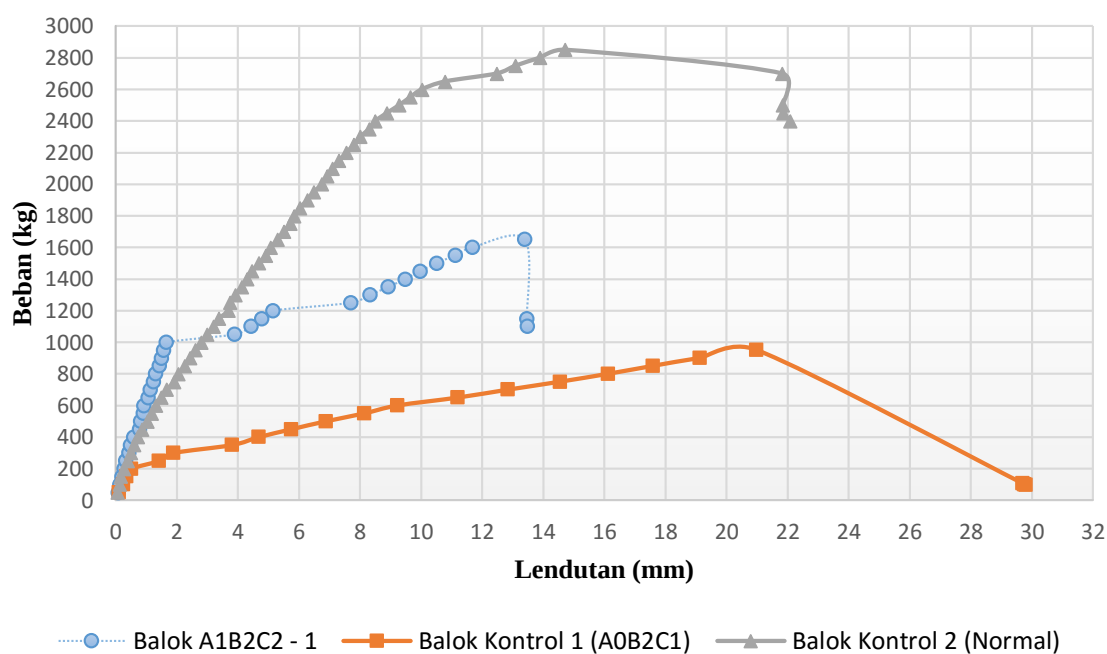
Mutu Beton = 16,081 Mpa

Lebar Retakan = 1 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,01	0,15	0,08
2	50	100	0,01	0,28	0,145
3	50	150	0,02	0,38	0,2
4	50	200	0,03	0,51	0,27
5	50	250	0,04	0,61	0,325
6	50	300	0,21	0,67	0,44
7	50	350	0,24	0,74	0,49
8	50	400	0,33	0,84	0,585
9	50	450	0,57	0,98	0,775
10	50	500	0,6	1,05	0,825
11	50	550	0,68	1,12	0,9
12	50	600	0,64	1,2	0,92
13	50	650	0,84	1,27	1,055
14	50	700	0,9	1,35	1,125
15	50	750	1,03	1,44	1,235
16	50	800	1,1	1,52	1,31
17	50	850	1,24	1,61	1,425
18	50	900	1,32	1,68	1,5
19	50	950	1,38	1,76	1,57
20	50	1000	1,45	1,87	1,66
21	50	1050	3,68	4,11	3,895
22	50	1100	4,2	4,68	4,44
23	50	1150	4,58	5	4,79
24	50	1200	4,96	5,33	5,145

25	50	1250	7,59	7,81	7,7
26	50	1300	8,2	8,47	8,335
27	50	1350	8,84	9,01	8,925
28	50	1400	9,39	9,57	9,48
29	50	1450	9,93	10,02	9,975
30	50	1500	10,47	10,54	10,505
31	50	1550	11,11	11,14	11,125
32	50	1600	11,7	11,67	11,685
33	50	1650	13,62	13,18	13,4
34	50	1150	13,7	13,23	13,465
35	50	1100	13,7	13,25	13,475

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A1B2C2 - 1**



➤ **Balok A1B2C2 - 2**

Nama Benda Uji = A1B2C2 - 2

Tanggal Pengecoran = 21 April 2016

Tanggal Pengujian = 19 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

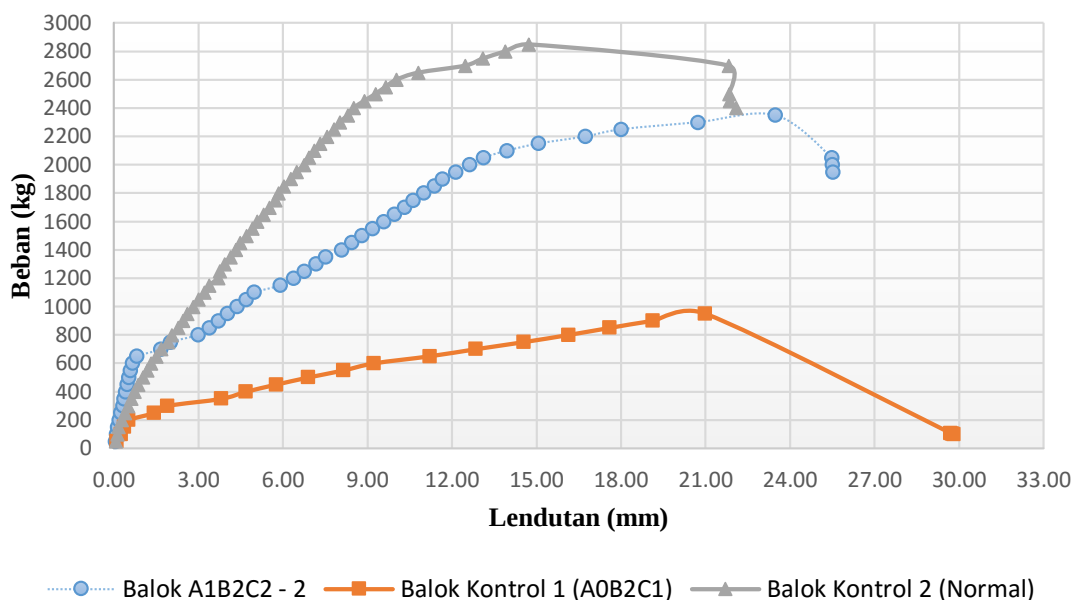
Mutu Beton = 16,081 Mpa

Lebar Retakan = 0,5 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,05	0,04	0,04
2	50	100	0,09	0,07	0,08
3	50	150	0,13	0,13	0,13
4	50	200	0,20	0,18	0,19
5	50	250	0,26	0,22	0,24
6	50	300	0,35	0,28	0,31
7	50	350	0,40	0,30	0,35
8	50	400	0,46	0,36	0,41
9	50	450	0,53	0,41	0,47
10	50	500	0,59	0,45	0,52
11	50	550	0,65	0,51	0,58
12	50	600	0,71	0,60	0,65
13	50	650	0,90	0,72	0,81
14	50	700	1,76	1,56	1,66
15	50	750	2,10	1,89	2,00
16	50	800	3,10	2,85	2,98
17	50	850	3,54	3,22	3,38
18	50	900	3,86	3,55	3,71
19	50	950	4,18	3,86	4,02
20	50	1000	4,57	4,17	4,37
21	50	1050	4,86	4,51	4,69
22	50	1100	5,14	4,81	4,98
23	50	1150	6,01	5,80	5,91
24	50	1200	6,48	6,28	6,38
25	50	1250	6,84	6,68	6,76

26	50	1300	7,24	7,09	7,17
27	50	1350	7,58	7,45	7,52
28	50	1400	8,14	8,03	8,09
29	50	1450	8,49	8,40	8,45
30	50	1500	8,83	8,76	8,80
31	50	1550	9,21	9,13	9,17
32	50	1600	9,61	9,55	9,58
33	50	1650	9,95	9,95	9,95
34	50	1700	10,31	10,31	10,31
35	50	1750	10,62	10,61	10,62
36	50	1800	10,98	11,00	10,99
37	50	1850	11,35	11,38	11,37
38	50	1900	11,62	11,68	11,65
39	50	1950	12,09	12,16	12,13
40	50	2000	12,56	12,67	12,62
41	50	2050	13,04	13,18	13,11
42	50	2100	13,84	14,06	13,95
43	50	2150	14,92	15,23	15,08
44	50	2200	16,50	16,96	16,73
45	50	2250	17,70	18,30	18,00
46	50	2300	20,38	21,06	20,72
47	50	2350	23,05	23,89	23,47
48	50	2050	25,01	25,94	25,48
49	50	2000	25,01	25,98	25,50
50	50	1950	25,05	26,00	25,53

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A1B2C2 - 2**



➤ **Balok A1B2C2 - 3**

Nama Benda Uji = A1B2C2 - 3

Tanggal Pengecoran = 26 April 2016

Tanggal Pengujian = 24 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

Mutu Beton = 16,081 Mpa

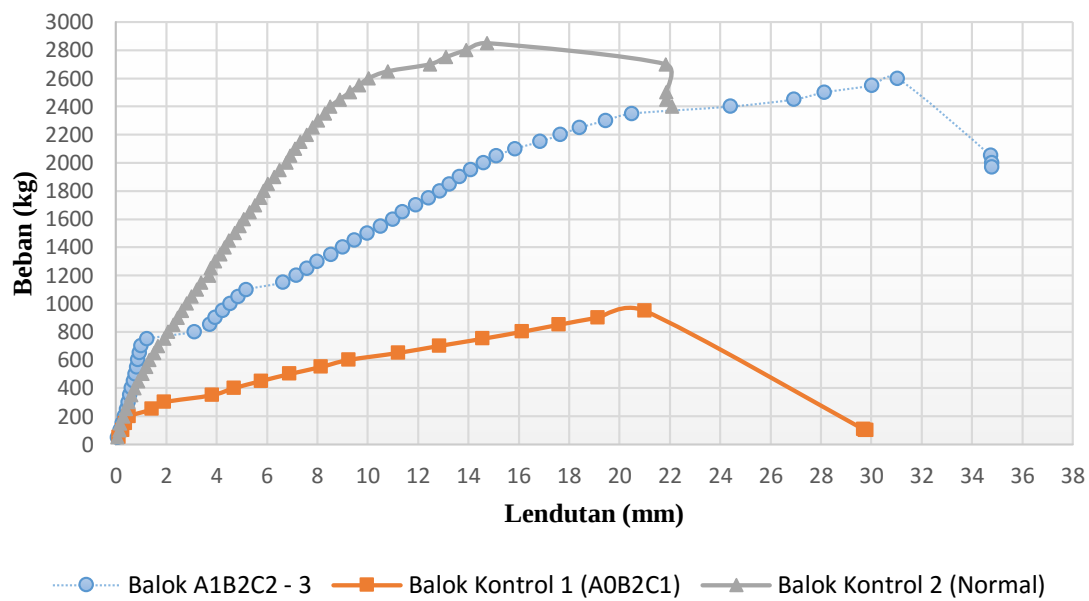
Lebar Retakan = 0,4 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,03	0,09	0,06
2	50	100	0,09	0,21	0,15
3	50	150	0,18	0,31	0,245
4	50	200	0,28	0,4	0,34
5	50	250	0,34	0,47	0,405
6	50	300	0,42	0,53	0,475
7	50	350	0,48	0,6	0,54
8	50	400	0,56	0,67	0,615
9	50	450	0,61	0,75	0,68
10	50	500	0,68	0,81	0,745

11	50	550	0,75	0,87	0,81
12	50	600	0,8	0,92	0,86
13	50	650	0,87	0,98	0,925
14	50	700	0,93	1,03	0,98
15	50	750	1,15	1,28	1,215
16	50	800	2,97	3,24	3,105
17	50	850	3,53	3,9	3,715
18	50	900	3,76	4,09	3,925
19	50	950	4,05	4,4	4,225
20	50	1000	4,33	4,7	4,515
21	50	1050	4,64	5,05	4,845
22	50	1100	4,96	5,34	5,15
23	50	1150	6,36	6,9	6,63
24	50	1200	6,87	7,43	7,15
25	50	1250	7,28	7,86	7,57
26	50	1300	7,69	8,28	7,985
27	50	1350	8,22	8,83	8,525
28	50	1400	8,67	9,3	8,985
29	50	1450	9,14	9,8	9,47
30	50	1500	9,63	10,3	9,965
31	50	1550	10,16	10,85	10,505
32	50	1600	10,64	11,35	10,995
33	50	1650	10,99	11,76	11,375
34	50	1700	11,51	12,27	11,89
35	50	1750	12,04	12,78	12,41
36	50	1800	12,46	13,25	12,855
37	50	1850	12,83	13,62	13,225
38	50	1900	13,24	14,01	13,625
39	50	1950	13,67	14,5	14,085
40	50	2000	14,18	15	14,59
41	50	2050	14,68	15,53	15,105
42	50	2100	15,41	16,26	15,835
43	50	2150	16,41	17,25	16,83
44	50	2200	17,17	18,11	17,64
45	50	2250	17,97	18,85	18,41
46	50	2300	19,02	19,87	19,445
47	50	2350	20,06	20,9	20,48

48	50	2400	24,34	24,46	24,4
49	50	2450	26,91	26,91	26,91
50	50	2500	28,14	28,11	28,125
51	50	2550	30,15	29,87	30,01
52	50	2600	31,17	30,89	31,03
53	50	2052	35,02	34,44	34,73
54	50	2000	35,07	34,48	34,775
55	50	1968	35,07	34,48	34,775

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A1B2C2 - 3**



➤ **Balok A2B2C1 - 1**

Nama Benda Uji = A2B2C1 - 1

Tanggal Pengecoran = 26 April 2016

Tanggal Pengujian = 24 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

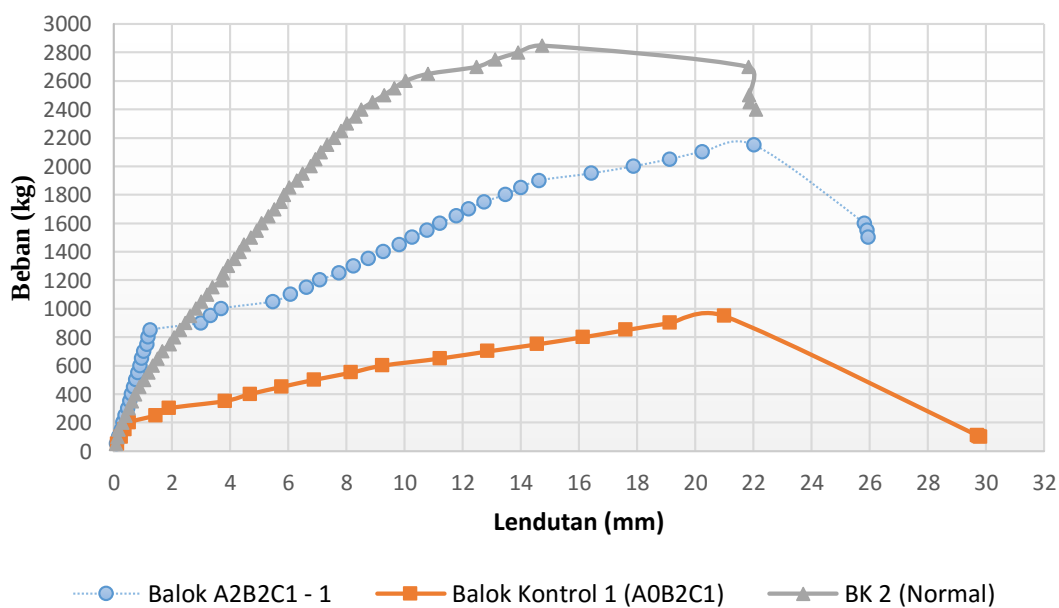
Mutu Beton = 19,286 Mpa

Lebar Retakan = 0,7 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,1	0,07	0,085
2	50	100	0,15	0,16	0,155
3	50	150	0,23	0,25	0,24
4	50	200	0,3	0,32	0,31
5	50	250	0,37	0,38	0,375
6	50	300	0,47	0,45	0,46
7	50	350	0,55	0,53	0,54
8	50	400	0,61	0,6	0,605
9	50	450	0,68	0,66	0,67
10	50	500	0,75	0,73	0,74
11	50	550	0,85	0,8	0,825
12	50	600	0,92	0,87	0,895
13	50	650	0,98	0,93	0,955
14	50	700	1,05	0,99	1,02
15	50	750	1,12	1,13	1,125
16	50	800	1,2	1,12	1,16
17	50	850	1,28	1,19	1,235
18	50	900	2,96	2,99	2,975
19	50	950	3,31	3,33	3,32
20	50	1000	3,67	3,7	3,685
21	50	1050	5,5	5,43	5,465
22	50	1100	6,08	6,04	6,06
23	50	1150	6,66	6,59	6,625
24	50	1200	7,11	7,03	7,07
25	50	1250	7,75	7,72	7,735
26	50	1300	8,25	8,2	8,225

27	50	1350	8,75	8,75	8,75
28	50	1400	9,27	9,25	9,26
29	50	1450	9,8	9,83	9,815
30	50	1500	10,22	10,27	10,245
31	50	1550	10,71	10,83	10,77
32	50	1600	11,16	11,25	11,205
33	50	1650	11,7	11,83	11,765
34	50	1700	12,13	12,27	12,2
35	50	1750	12,65	12,81	12,73
36	50	1800	13,4	13,52	13,46
37	50	1850	13,94	14,05	13,995
38	50	1900	14,57	14,65	14,61
39	50	1950	16,32	16,52	16,42
40	50	2000	17,74	18,01	17,875
41	50	2050	19,03	19,18	19,105
42	50	2100	20,17	20,29	20,23
43	50	2150	21,96	22,07	22,015
44	50	1600	25,81	25,82	25,815
45	50	1550	25,86	25,96	25,91
46	50	1500	25,9	25,99	25,945

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A2B2C1 - 1**



➤ **Balok A2B2C1 - 2**

Nama Benda Uji = A2B2C1 - 2

Tanggal Pengecoran = 26 April 2016

Tanggal Pengujian = 24 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

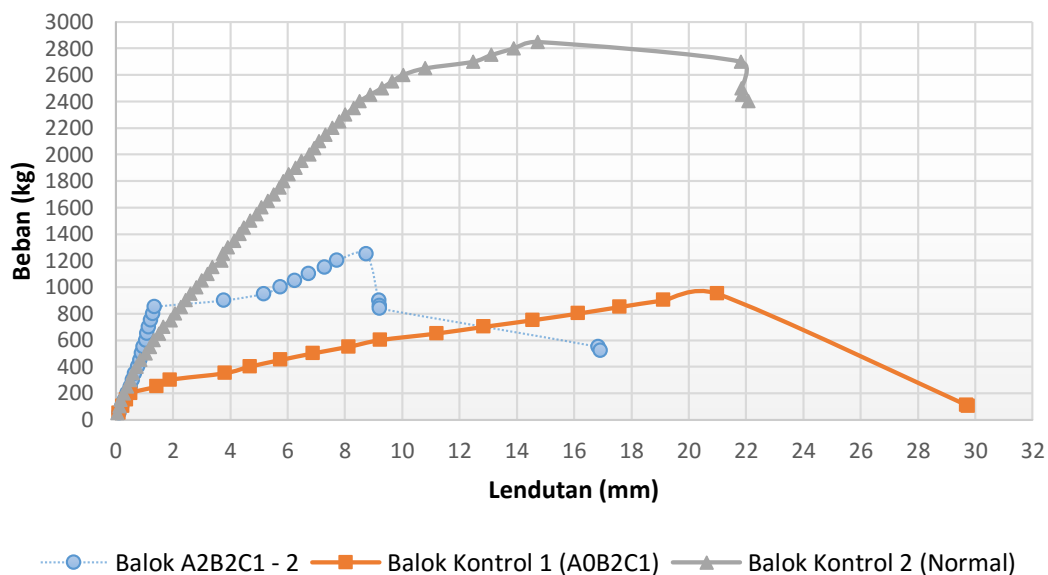
Mutu Beton = 19,286 Mpa

Lebar Retakan = 0,7 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,11	0,14	0,125
2	50	100	0,19	0,22	0,205
3	50	150	0,29	0,33	0,31
4	50	200	0,37	0,42	0,395
5	50	250	0,49	0,53	0,51
6	50	300	0,54	0,61	0,575
7	50	350	0,64	0,69	0,665
8	50	400	0,76	0,79	0,775
9	50	450	0,81	0,88	0,845
10	50	500	0,89	0,9	0,895
11	50	550	0,93	0,98	0,955
12	50	600	1,07	1,04	1,055
13	50	650	1,09	1,08	1,085
14	50	700	1,14	1,16	1,15
15	50	750	1,22	1,2	1,21
16	50	800	1,29	1,28	1,285
17	50	850	1,34	1,35	1,345
18	50	900	3,77	3,76	3,765
19	50	950	5,14	5,18	5,16
20	50	1000	5,71	5,76	5,735
21	50	1050	6,22	6,28	6,25
22	50	1100	6,7	6,77	6,735
23	50	1150	7,25	7,31	7,28
24	50	1200	7,67	7,77	7,72
25	50	1250	8,25	9,24	8,745
26	50	900	9,06	9,29	9,175

27	50	860	9,08	9,31	9,195
28	50	840	9,08	9,32	9,2
29	50	550	16,67	17,02	16,845
30	50	520	16,77	17,04	16,905

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A2B2C1 - 2**



➤ **Balok A2B2C1 - 3**

Nama Benda Uji = A2B2C1 - 3

Tanggal Pengecoran = 26 April 2016

Tanggal Pengujian = 24 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

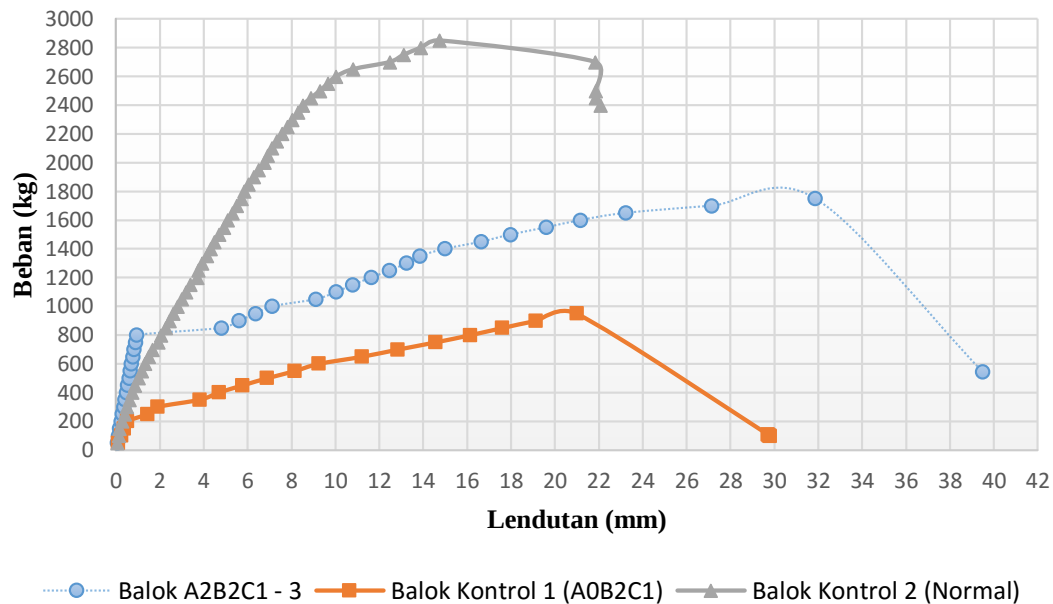
Mutu Beton = 19,286 Mpa

Lebar Retakan = 1,5 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,06	0,07	0,065
2	50	100	0,09	0,11	0,1
3	50	150	0,17	0,17	0,17
4	50	200	0,25	0,23	0,24
5	50	250	0,29	0,28	0,285

6	50	300	0,36	0,33	0,345
7	50	350	0,42	0,38	0,4
8	50	400	0,48	0,45	0,465
9	50	450	0,54	0,49	0,515
10	50	500	0,61	0,56	0,585
11	50	550	0,67	0,61	0,64
12	50	600	0,72	0,67	0,695
13	50	650	0,79	0,72	0,755
14	50	700	0,86	0,79	0,825
15	50	750	0,92	0,86	0,89
16	50	800	0,95	0,9	0,925
17	50	850	4,67	4,93	4,8
18	50	900	5,5	5,72	5,61
19	50	950	6,25	6,46	6,355
20	50	1000	7	7,21	7,105
21	50	1050	8,91	9,3	9,105
22	50	1100	9,82	10,24	10,03
23	50	1150	10,54	11,03	10,785
24	50	1200	11,37	11,88	11,625
25	50	1250	12,16	12,78	12,47
26	50	1300	12,9	13,58	13,24
27	50	1350	13,2	14,48	13,84
28	50	1400	14,54	15,42	14,98
29	50	1450	16,14	17,13	16,635
30	50	1500	17,48	18,48	17,98
31	50	1550	19,15	20,08	19,615
32	50	1600	20,68	21,62	21,15
33	50	1650	22,71	23,74	23,225
34	50	1700	26,59	27,67	27,13
35	50	1750	31,22	32,5	31,86
36	50	544	38,82	40,14	39,48

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A2B2C1 - 3**



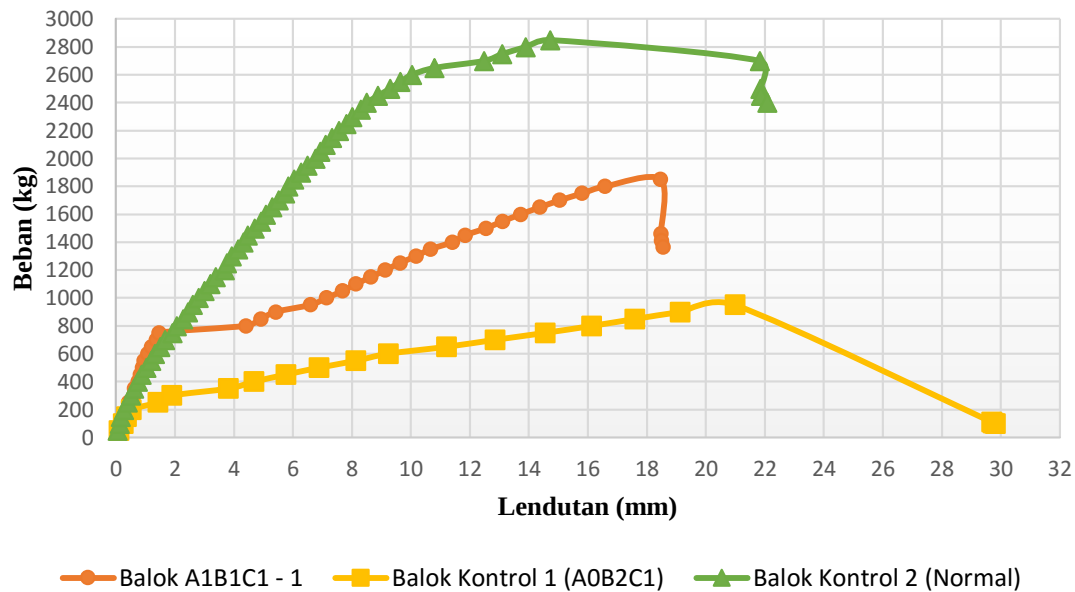
➤ **Balok A1B1C1 - 1**

Nama Benda Uji = A1B1C1 - 1
 Tanggal Pengecoran = 29 April 2016
 Tanggal Pengujian = 27 Mei 2016
 Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya
 Umur Beton = 28 Hari
 Mutu Beton = 20,390 Mpa
 Lebar Retakan = 0,75 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,16	0,24	0,2
2	50	100	0,25	0,33	0,29
3	50	150	0,34	0,4	0,37
4	50	200	0,42	0,48	0,45
5	50	250	0,31	0,56	0,435
6	50	300	0,59	0,63	0,61
7	50	350	0,56	0,7	0,63
8	50	400	0,74	0,78	0,76
9	50	450	0,8	0,84	0,82
10	50	500	0,87	0,91	0,89
11	50	550	0,93	0,97	0,95

12	50	600	1,04	1,12	1,08
13	50	650	1,17	1,22	1,195
14	50	700	1,33	1,39	1,36
15	50	750	1,42	1,48	1,45
16	50	800	4,42	4,39	4,405
17	50	850	4,94	4,89	4,915
18	50	900	5,46	5,39	5,425
19	50	950	6,59	6,58	6,585
20	50	1000	7,14	7,15	7,145
21	50	1050	7,66	7,7	7,68
22	50	1100	8,07	8,2	8,135
23	50	1150	8,61	8,68	8,645
24	50	1200	9,06	9,2	9,13
25	50	1250	9,56	9,69	9,625
26	50	1300	10,1	10,24	10,17
27	50	1350	10,58	10,76	10,67
28	50	1400	11,56	11,26	11,41
29	50	1450	11,96	11,73	11,845
30	50	1500	12,67	12,42	12,545
31	50	1550	13,21	13	13,105
32	50	1600	13,83	13,62	13,725
33	50	1650	14,47	14,26	14,365
34	50	1700	15,14	14,94	15,04
35	50	1750	15,91	15,7	15,805
36	50	1800	16,69	16,48	16,585
37	50	1850	18,71	18,21	18,46
43	50	1460	18,72	18,23	18,475
44	50	1410	18,74	18,25	18,495
45	50	1364	18,77	18,31	18,54

GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN BALOK A1B1C1 - 1



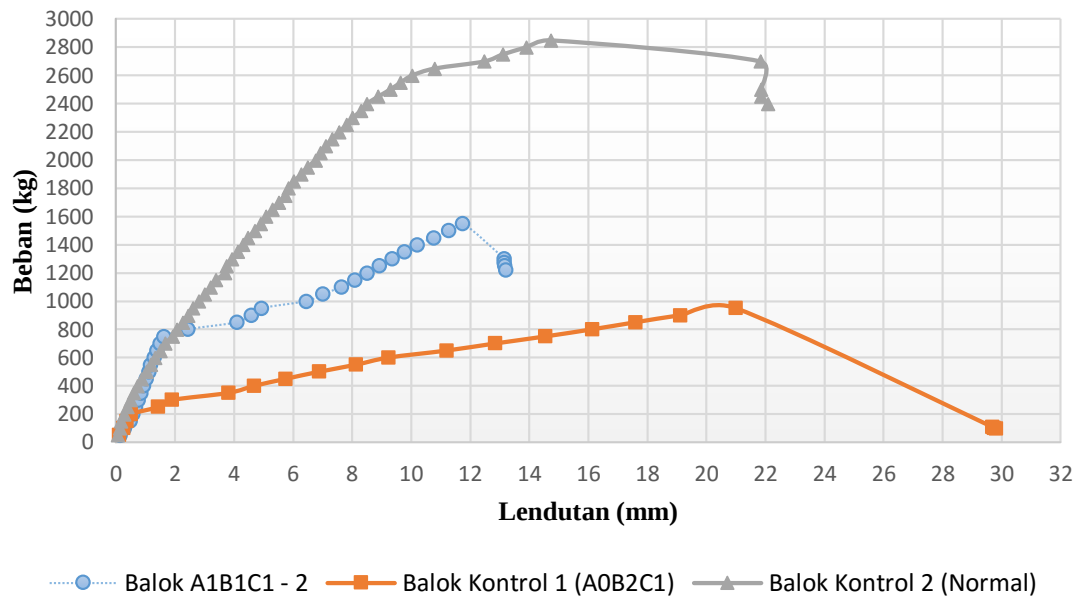
➤ Balok A1B1C1 - 2

Nama Benda Uji = A1B1C1 - 2
 Tanggal Pengecoran = 29 April 2016
 Tanggal Pengujian = 27 Mei 2016
 Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya
 Umur Beton = 28 Hari
 Mutu Beton = 20,390 Mpa
 Lebar Retakan = 0,4 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,15	0,14	0,145
2	50	100	0,29	0,26	0,275
3	50	150	0,6	0,37	0,485
4	50	200	0,7	0,44	0,57
5	50	250	0,8	0,52	0,66
6	50	300	0,89	0,61	0,75
7	50	350	0,99	0,7	0,845
8	50	400	1,08	0,77	0,925
9	50	450	1,18	0,85	1,015
10	50	500	1,28	0,93	1,105
11	50	550	1,35	1	1,175

12	50	600	1,46	1,12	1,29
13	50	650	1,56	1,22	1,39
14	50	700	1,66	1,31	1,485
15	50	750	1,77	1,45	1,61
16	50	800	2,61	2,24	2,425
17	50	850	4,33	3,86	4,095
18	50	900	4,83	4,32	4,575
19	50	950	5,21	4,64	4,925
20	50	1000	6,8	6,09	6,445
21	50	1050	7,38	6,64	7,01
22	50	1100	8,04	7,23	7,635
23	50	1150	8,51	7,66	8,085
24	50	1200	8,93	8,07	8,5
25	50	1250	9,35	8,47	8,91
26	50	1300	9,82	8,9	9,36
27	50	1350	10,22	9,3	9,76
28	50	1400	10,65	9,74	10,195
29	50	1450	11,22	10,29	10,755
30	50	1500	11,73	10,79	11,26
31	50	1550	12,2	11,27	11,735
33	50	1300	13,67	12,61	13,14
34	50	1276	13,68	12,62	13,15
35	50	1252	13,7	12,63	13,165
36	50	1220	13,73	12,66	13,195

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A1B1C1 - 2**



➤ **Balok A1B1C1 - 3**

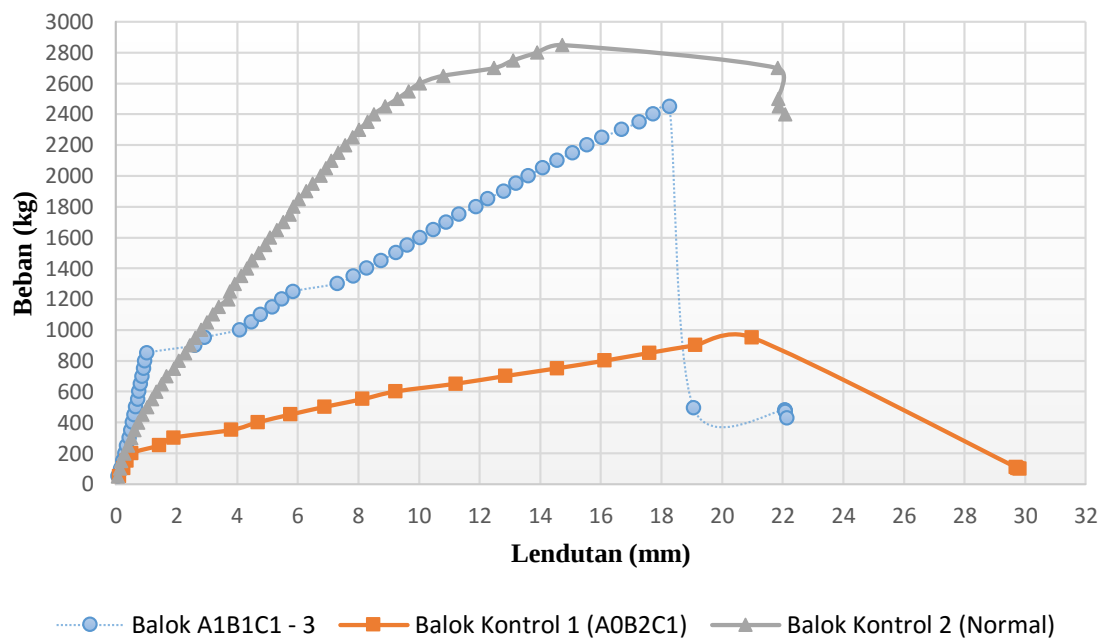
Nama Benda Uji = A1B1C1 - 3
 Tanggal Pengecoran = 3 Mei 2016
 Tanggal Pengujian = 31 Mei 2016
 Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya
 Umur Beton = 28 Hari
 Mutu Beton = 20,390 Mpa
 Lebar Retakan = 0,9 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,04	0,1	0,07
2	50	100	0,11	0,2	0,155
3	50	150	0,17	0,27	0,22
4	50	200	0,23	0,37	0,3
5	50	250	0,27	0,43	0,35
6	50	300	0,34	0,51	0,425
7	50	350	0,38	0,58	0,48
8	50	400	0,44	0,64	0,54
9	50	450	0,48	0,7	0,59
10	50	500	0,53	0,75	0,64
11	50	550	0,6	0,82	0,71

12	50	600	0,64	0,85	0,745
13	50	650	0,7	0,9	0,8
14	50	700	0,74	0,96	0,85
15	50	750	0,79	1,01	0,9
16	50	800	0,84	1,06	0,95
17	50	850	0,9	1,12	1,01
18	50	900	2,45	2,74	2,595
19	50	950	2,74	3,1	2,92
20	50	1000	3,92	4,24	4,08
21	50	1050	4,26	4,67	4,465
22	50	1100	4,56	4,95	4,755
23	50	1150	4,92	5,37	5,145
24	50	1200	5,27	5,68	5,475
25	50	1250	5,63	6,05	5,84
26	50	1300	7,07	7,52	7,295
27	50	1350	7,6	8,04	7,82
28	50	1400	8,05	8,48	8,265
29	50	1450	8,5	8,98	8,74
30	50	1500	9	9,47	9,235
31	50	1550	9,37	9,85	9,61
32	50	1600	9,79	10,26	10,025
33	50	1650	10,23	10,7	10,465
34	50	1700	10,65	11,12	10,885
35	50	1750	11,07	11,55	11,31
36	50	1800	11,63	12,12	11,875
37	50	1850	12	12,51	12,255
38	50	1900	12,53	13,03	12,78
39	50	1950	12,93	13,44	13,185
40	50	2000	13,34	13,86	13,6
41	50	2050	13,81	14,33	14,07
42	50	2100	14,3	14,81	14,555
43	50	2150	14,81	15,3	15,055
44	50	2200	15,29	15,77	15,53
45	50	2250	15,79	16,28	16,035
46	50	2300	16,46	16,91	16,685
47	50	2350	17,03	17,49	17,26
48	50	2400	17,49	17,94	17,715

49	50	2450	18,03	18,5	18,265
50	50	494	15,81	22,31	19,06
51	50	480	21,82	22,31	22,065
52	50	478	21,83	22,32	22,075
53	50	470	21,84	22,34	22,09
54	50	430	21,89	22,39	22,14

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A1B1C1 - 3**



➤ **Balok A2B1C2 - 1**

Nama Benda Uji = A2B1C2 - 1

Tanggal Pengecoran = 3 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 31 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

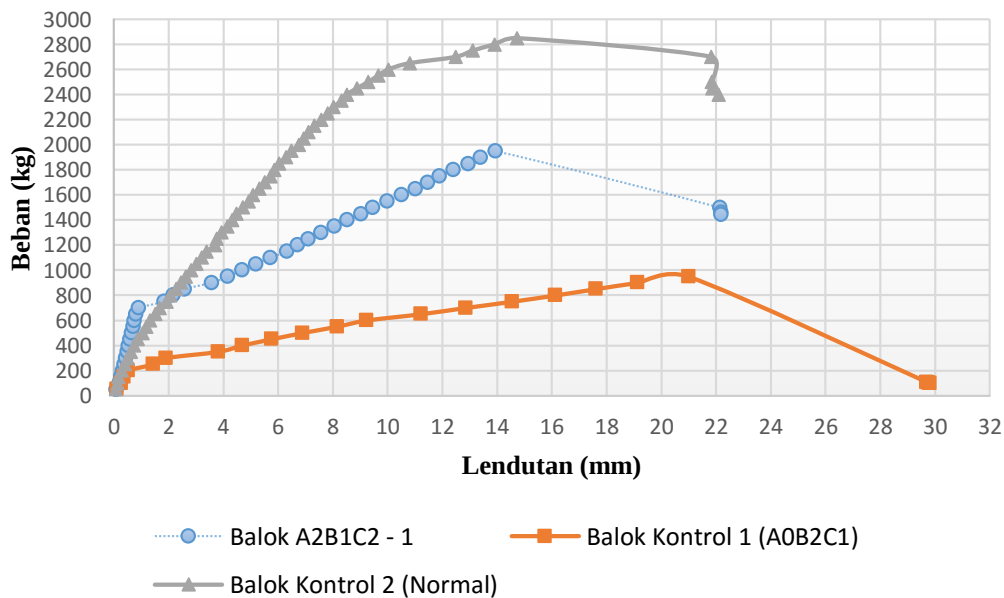
Mutu Beton = 20,903 Mpa

Lebar Retakan = 0,5 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,04	0,08	0,06
2	50	100	0,17	0,2	0,185
3	50	150	0,25	0,25	0,25
4	50	200	0,31	0,29	0,3
5	50	250	0,38	0,35	0,365
6	50	300	0,45	0,38	0,415
7	50	350	0,52	0,43	0,475
8	50	400	0,58	0,47	0,525
9	50	450	0,64	0,51	0,575
10	50	500	0,71	0,56	0,635
11	50	550	0,78	0,59	0,685
12	50	600	0,85	0,63	0,74
13	50	650	0,91	0,67	0,79
14	50	700	1,03	0,76	0,895
15	50	750	1,99	1,64	1,815
16	50	800	2,34	1,96	2,15
17	50	850	2,77	2,35	2,56
18	50	900	3,81	3,31	3,56
19	50	950	4,41	3,86	4,135
20	50	1000	4,98	4,35	4,665
21	50	1050	5,52	4,83	5,175
22	50	1100	6,09	5,31	5,7
23	50	1150	6,71	5,89	6,3
24	50	1200	7,13	6,27	6,7
25	50	1250	7,53	6,66	7,095
26	50	1300	8,01	7,08	7,545

27	50	1350	8,55	7,55	8,05
28	50	1400	9,04	7,99	8,515
29	50	1450	9,56	8,47	9,015
30	50	1500	9,99	8,89	9,44
31	50	1550	10,55	9,41	9,98
32	50	1600	11,08	9,92	10,5
33	50	1650	11,6	10,4	11
34	50	1700	12,07	10,85	11,46
35	50	1750	12,52	11,26	11,89
36	50	1800	13,04	11,74	12,39
37	50	1850	13,6	12,26	12,93
38	50	1900	14,06	12,7	13,38
39	50	1950	14,62	13,22	13,92
40	50	1500	22,77	21,49	22,13
41	50	1462	22,8	21,53	22,165
42	50	1444	22,81	21,55	22,18

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A2B1C2 - 1**



➤ **Balok A2B1C2 - 2**

Nama Benda Uji = A2B1C2 - 2

Tanggal Pengecoran = 3 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 31 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

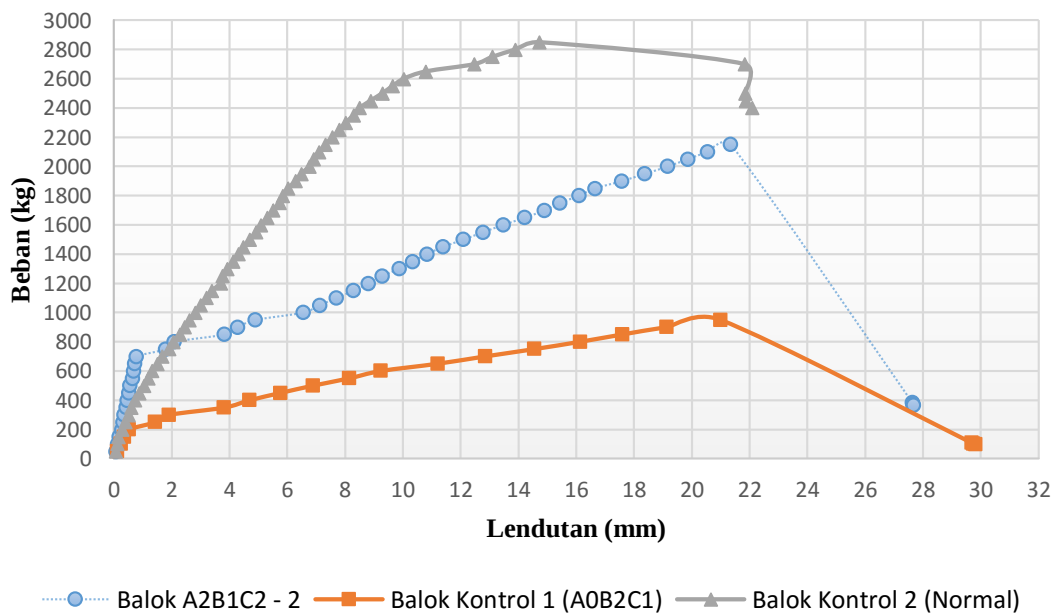
Mutu Beton = 20,903 Mpa

Lebar Retakan = 0,9 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,08	0,06	0,07
2	50	100	0,14	0,12	0,13
3	50	150	0,2	0,17	0,185
4	50	200	0,29	0,24	0,265
5	50	250	0,33	0,27	0,3
6	50	300	0,39	0,31	0,35
7	50	350	0,45	0,37	0,41
8	50	400	0,49	0,41	0,45
9	50	450	0,56	0,45	0,505
10	50	500	0,61	0,49	0,55
11	50	550	0,74	0,54	0,64
12	50	600	0,78	0,58	0,68
13	50	650	0,78	0,65	0,715
14	50	700	0,85	0,68	0,765
15	50	750	1,91	1,67	1,79
16	50	800	2,21	1,94	2,075
17	50	850	3,96	3,66	3,81
18	50	900	4,46	4,1	4,28
19	50	950	5,08	4,69	4,885
20	50	1000	6,76	6,32	6,54
21	50	1050	7,33	6,89	7,11
22	50	1100	7,92	7,46	7,69
23	50	1150	8,51	8,05	8,28
24	50	1200	9,03	8,55	8,79
25	50	1250	9,52	9,03	9,275
26	50	1300	10,11	9,61	9,86

27	50	1350	10,58	10,07	10,325
28	50	1400	11,1	10,55	10,825
29	50	1450	11,67	11,11	11,39
30	50	1500	12,39	11,79	12,09
31	50	1550	13,09	12,44	12,765
32	50	1600	13,8	13,13	13,465
33	50	1650	14,57	13,86	14,215
34	50	1700	15,24	14,54	14,89
35	50	1750	15,78	15,07	15,425
36	50	1800	16,44	15,73	16,085
37	50	1850	17	16,28	16,64
38	50	1900	17,93	17,21	17,57
39	50	1950	18,74	18	18,37
40	50	2000	19,53	18,79	19,16
41	50	2050	20,21	19,49	19,85
42	50	2100	20,92	20,17	20,545
43	50	2150	21,71	20,97	21,34
44	50	384	28,16	27,09	27,625
45	50	372	28,18	27,12	27,65
46	50	366	28,19	27,13	27,66

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A2B1C2 - 2**



➤ **Balok A2B1C2 - 3**

Nama Benda Uji = A2B1C2 - 3

Tanggal Pengecoran = 3 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 31 Mei 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

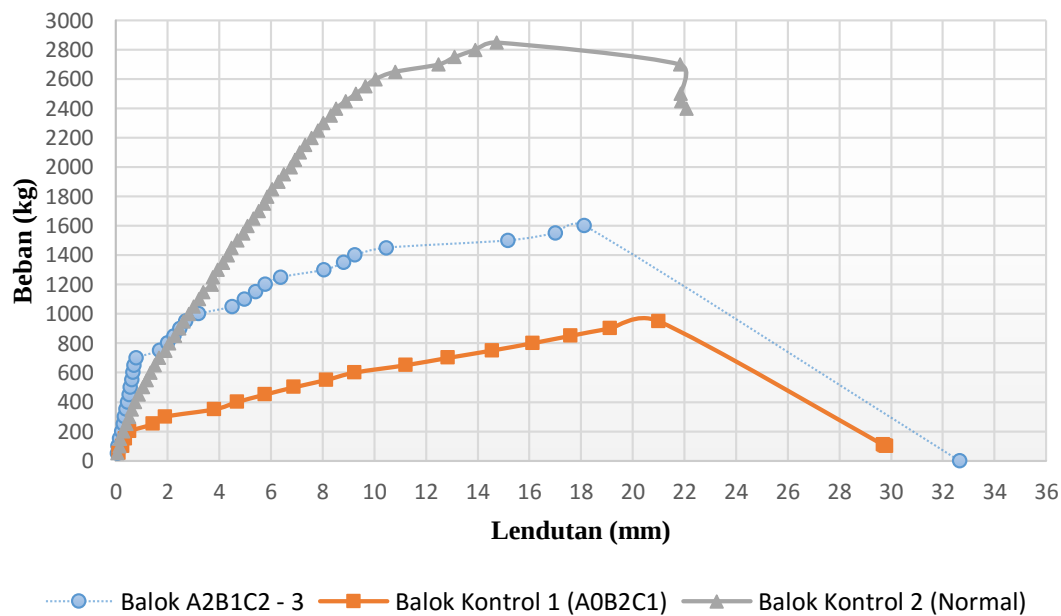
Mutu Beton = 20,903 Mpa

Lebar Retakan = 1,4 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,05	0,05	0,05
2	50	100	0,08	0,06	0,07
3	50	150	0,14	0,11	0,125
4	50	200	0,23	0,2	0,215
5	50	250	0,29	0,27	0,28
6	50	300	0,34	0,32	0,33
7	50	350	0,39	0,37	0,38
8	50	400	0,43	0,44	0,435
9	50	450	0,51	0,49	0,5
10	50	500	0,55	0,54	0,545
11	50	550	0,6	0,6	0,6
12	50	600	0,66	0,65	0,655
13	50	650	0,7	0,7	0,7
14	50	700	0,77	0,78	0,775
15	50	750	1,69	1,68	1,685
16	50	800	2,02	1,98	2
17	50	850	2,27	2,2	2,235
18	50	900	2,51	2,42	2,465
19	50	950	2,74	2,63	2,685
20	50	1000	3,06	3,33	3,195
21	50	1050	4,54	4,45	4,495
22	50	1100	5	4,94	4,97
23	50	1150	5,45	5,37	5,41
24	50	1200	5,78	5,77	5,775
25	50	1250	6,42	6,34	6,38
26	50	1300	8,07	8,01	8,04

27	50	1350	8,84	8,79	8,815
28	50	1400	9,26	9,22	9,24
29	50	1450	10,48	10,44	10,46
30	50	1500	15,13	15,21	15,17
31	50	1550	16,95	17,05	17
32	50	1600	18,06	18,19	18,125
33	50	0	33,3	31,99	32,645

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK A2B1C2 - 3**



➤ **Balok Kontrol 1 A0B2C2**

Nama Benda Uji = BK 1 (A0B2C1)

Tanggal Pengecoran = 9 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 6 Juni 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

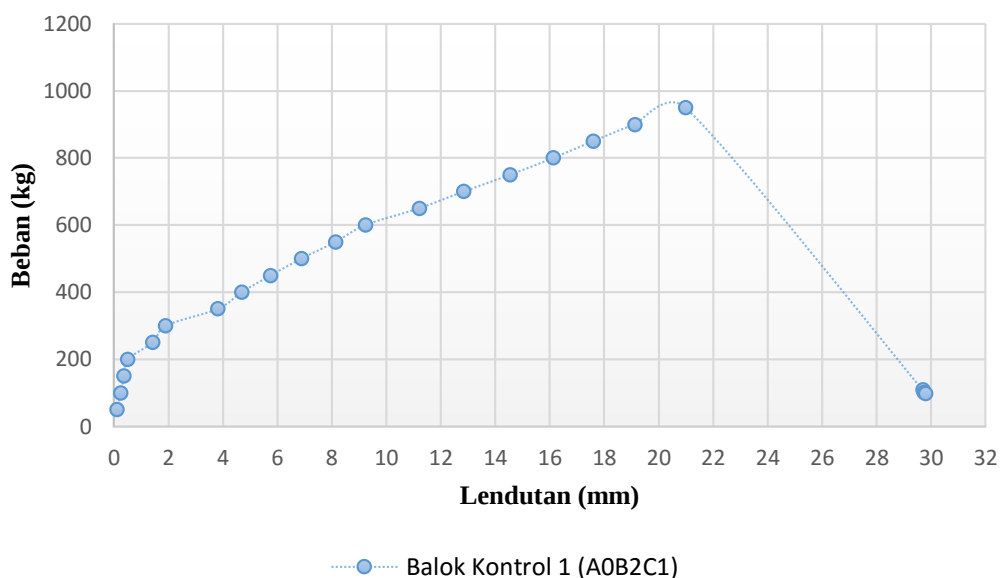
Umur Beton = 28 Hari

Mutu Beton = 14,933 Mpa

Lebar Retakan = 1,1 cm

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,09	0,12	0,105
2	50	100	0,24	0,25	0,245
3	50	150	0,37	0,35	0,36
4	50	200	0,54	0,48	0,51
5	50	250	1,49	1,36	1,425
6	50	300	1,98	1,82	1,9
7	50	350	3,91	3,71	3,81
8	50	400	4,81	4,56	4,685
9	50	450	5,88	5,63	5,755
10	50	500	6,99	6,78	6,885
11	50	550	8,25	8,03	8,14
12	50	600	9,23	9,23	9,23
13	50	650	11,21	11,2	11,205
14	50	700	12,81	12,88	12,845
15	50	750	14,49	14,61	14,55
16	50	800	16,09	16,17	16,13
17	50	850	17,54	17,65	17,595
18	50	900	19,03	19,22	19,125
19	50	950	20,87	21,11	20,99
20	50	108,5	29,83	29,56	29,695
21	50	101	29,89	29,61	29,75
22	50	98	29,95	29,67	29,81

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK KONTROL 1 A0B2C1**



➤ **Balok Kontrol 2 (Normal)**

Nama Benda Uji = BK 2 (Normal)

Tanggal Pengecoran = 18 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 15 Juni 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

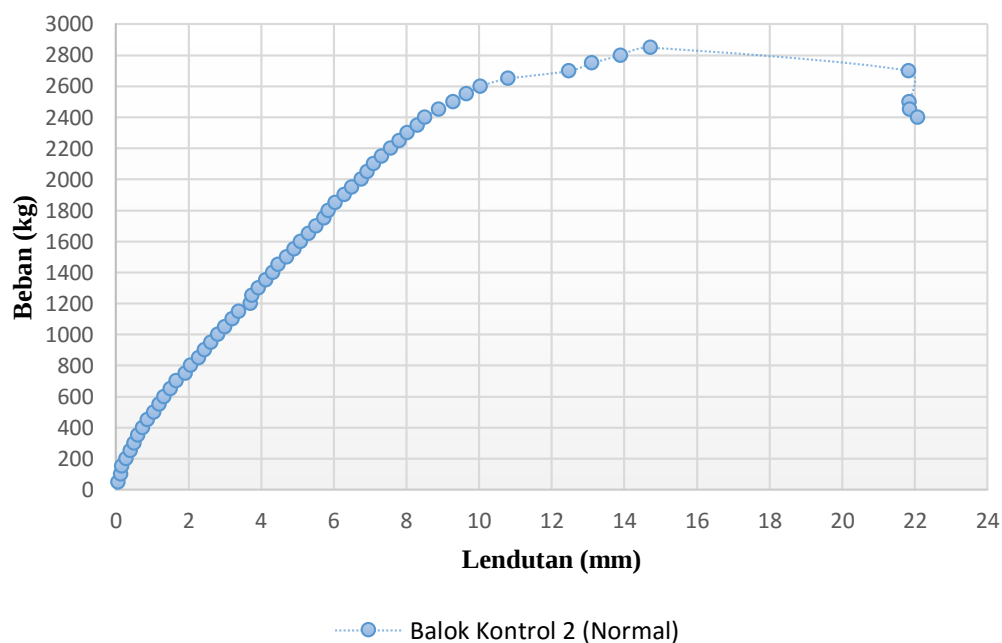
Mutu Beton = 16,808 Mpa

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata- Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	50	50	0,06	0,04	0,05
2	50	100	0,19	0,05	0,12
3	50	150	0,26	0,05	0,155
4	50	200	0,44	0,1	0,27
5	50	250	0,65	0,12	0,385
6	50	300	0,8	0,19	0,495
7	50	350	0,93	0,27	0,6
8	50	400	1,08	0,37	0,725
9	50	450	1,22	0,5	0,86
10	50	500	1,46	0,6	1,03
11	50	550	1,61	0,75	1,18
12	50	600	1,73	0,9	1,315

13	50	650	1,89	1,1	1,495
14	50	700	2,05	1,27	1,66
15	50	750	2,31	1,51	1,91
16	50	800	2,39	1,72	2,055
17	50	850	2,61	1,92	2,265
18	50	900	2,75	2,12	2,435
19	50	950	2,91	2,3	2,605
20	50	1000	3,1	2,5	2,8
21	50	1050	3,29	2,7	2,995
22	50	1100	3,5	2,89	3,195
23	50	1150	3,66	3,09	3,375
24	50	1200	3,88	3,5	3,69
25	50	1250	4,03	3,46	3,745
26	50	1300	4,18	3,65	3,915
27	50	1350	4,4	3,85	4,125
28	50	1400	4,56	4,06	4,31
29	50	1450	4,72	4,21	4,465
30	50	1500	4,97	4,42	4,695
31	50	1550	5,16	4,65	4,905
32	50	1600	5,32	4,82	5,07
33	50	1650	5,58	5,02	5,3
34	50	1700	5,78	5,23	5,505
35	50	1750	5,94	5,5	5,72
36	50	1800	6,07	5,61	5,84
37	50	1850	6,21	5,84	6,025
38	50	1900	6,53	6,02	6,275
39	50	1950	6,73	6,23	6,48
40	50	2000	7	6,5	6,75
41	50	2050	7,16	6,67	6,915
42	50	2100	7,32	6,87	7,095
43	50	2150	7,55	7,08	7,315
44	50	2200	7,78	7,33	7,555
45	50	2250	8	7,6	7,8
46	50	2300	8,22	7,8	8,01
47	50	2350	8,47	8,12	8,295
48	50	2400	8,66	8,34	8,5
49	50	2450	9,03	8,72	8,875

50	50	2500	9,41	9,15	9,28
51	50	2550	9,77	9,51	9,64
52	50	2600	10,12	9,93	10,025
53	50	2650	10,82	10,76	10,79
54	50	2700	12,4	12,54	12,47
55	50	2750	13,01	13,18	13,095
56	50	2800	13,78	14	13,89
57	50	2850	14,61	14,83	14,72
58	50	2700	21,82	21,82	21,82
59	50	2500	21,84	21,84	21,84
60	50	2450	21,86	21,85	21,855
61	50	2400	22,08	22,08	22,08

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN
BALOK KONTROL 2 (NORMAL)**



Lampiran 3 Hasil Pengujian Balok *Pull-Out*

➤ Balok *Pull-Out* A1B2 - 1

Nama Benda Uji = A1B2 - 1

Tanggal Pengecoran = 13 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 10 Juni 2016

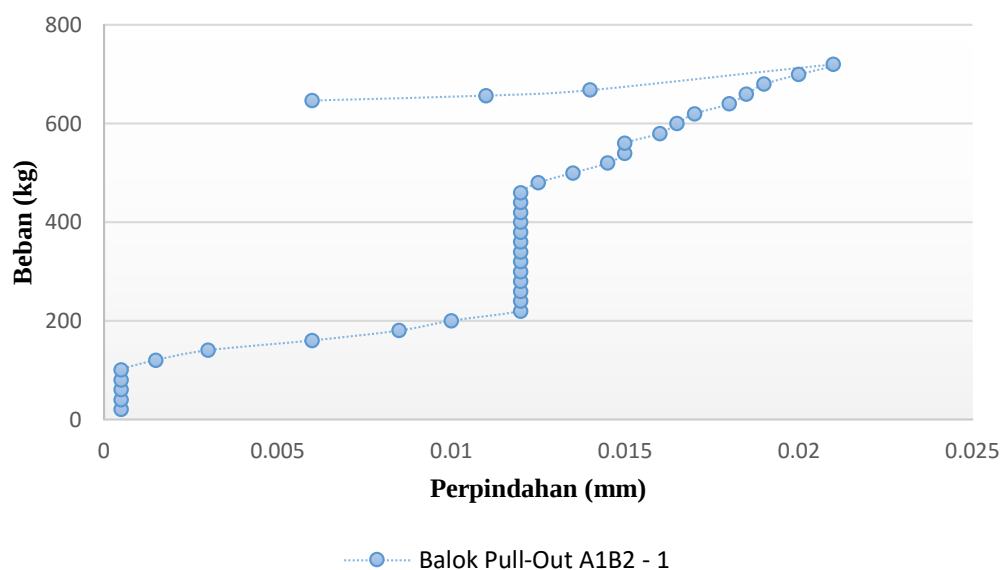
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	0,05	0,01	0,0005
2	20	40	0,05	0,01	0,0005
3	20	60	0,05	0,01	0,0005
4	20	80	0,05	0,01	0,0005
5	20	100	0,05	0,01	0,0005
6	20	120	0,15	0,01	0,0015
7	20	140	0,3	0,01	0,003
8	20	160	0,6	0,01	0,006
9	20	180	0,85	0,01	0,0085
10	20	200	1	0,01	0,01
11	20	220	1,2	0,01	0,012
12	20	240	1,2	0,01	0,012
13	20	260	1,2	0,01	0,012
14	20	280	1,2	0,01	0,012
15	20	300	1,2	0,01	0,012
16	20	320	1,2	0,01	0,012
17	20	340	1,2	0,01	0,012
18	20	360	1,2	0,01	0,012
19	20	380	1,2	0,01	0,012
20	20	400	1,2	0,01	0,012
21	20	420	1,2	0,01	0,012
22	20	440	1,2	0,01	0,012
23	20	460	1,2	0,01	0,012
24	20	480	1,25	0,01	0,0125
25	20	500	1,35	0,01	0,0135
26	20	520	1,45	0,01	0,0145
27	20	540	1,5	0,01	0,015

28	20	560	1,5	0,01	0,015
29	20	580	1,6	0,01	0,016
30	20	600	1,65	0,01	0,0165
31	20	620	1,7	0,01	0,017
32	20	640	1,8	0,01	0,018
33	20	660	1,85	0,01	0,0185
34	20	680	1,9	0,01	0,019
35	20	700	2	0,01	0,02
36	20	720	2,1	0,01	0,021
37	20	668	1,4	0,01	0,014
38	20	657	1,1	0,01	0,011
39	20	647	0,6	0,01	0,006

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK *PULL-OUT* A1B2 - 1**



➤ **Balok Pull-Out A1B2 - 2**

Nama Benda Uji = A1B2 - 2

Tanggal Pengecoran = 13 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 10 Juni 2016

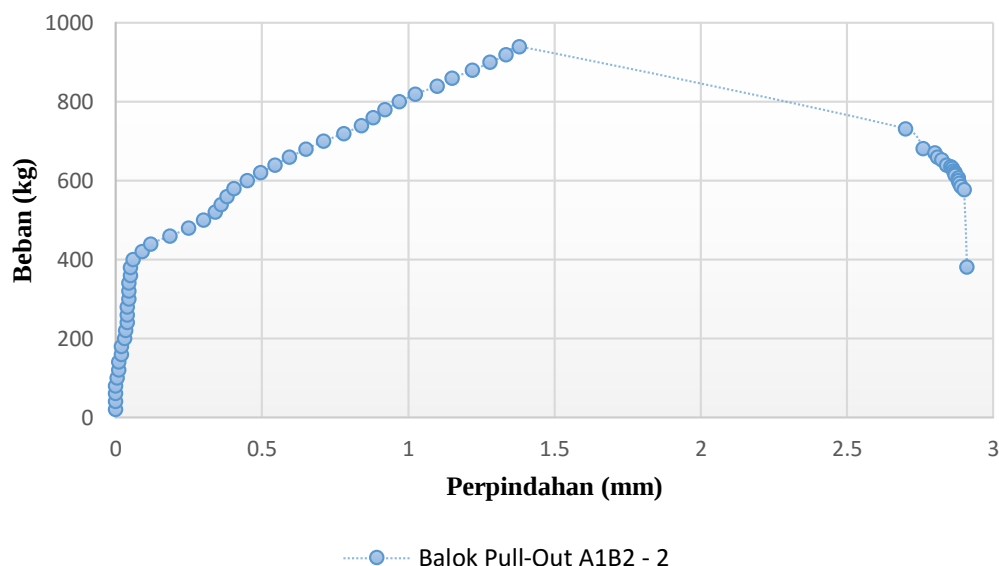
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	0	0,01	0
2	20	40	0	0,01	0
3	20	60	0	0,01	0
4	20	80	0	0,01	0
5	20	100	0,5	0,01	0,005
6	20	120	1	0,01	0,01
7	20	140	1	0,01	0,01
8	20	160	2	0,01	0,02
9	20	180	2	0,01	0,02
10	20	200	3	0,01	0,03
11	20	220	3,5	0,01	0,035
12	20	240	4	0,01	0,04
13	20	260	4	0,01	0,04
14	20	280	4	0,01	0,04
15	20	300	4,5	0,01	0,045
16	20	320	4,5	0,01	0,045
17	20	340	4,5	0,01	0,045
18	20	360	5	0,01	0,05
19	20	380	5	0,01	0,05
20	20	400	6	0,01	0,06
21	20	420	9	0,01	0,09
22	20	440	12	0,01	0,12
23	20	460	18,5	0,01	0,185
24	20	480	25	0,01	0,25
25	20	500	30	0,01	0,3
26	20	520	34	0,01	0,34
27	20	540	36	0,01	0,36
28	20	560	38	0,01	0,38
29	20	580	40,5	0,01	0,405

30	20	600	45	0,01	0,45
31	20	620	49,5	0,01	0,495
32	20	640	54,5	0,01	0,545
33	20	660	59,5	0,01	0,595
34	20	680	65	0,01	0,65
35	20	700	71	0,01	0,71
36	20	720	78	0,01	0,78
37	20	740	84	0,01	0,84
38	20	760	88	0,01	0,88
39	20	780	92	0,01	0,92
40	20	800	97	0,01	0,97
41	20	820	102,5	0,01	1,025
42	20	840	110	0,01	1,1
43	20	860	115	0,01	1,15
44	20	880	122	0,01	1,22
45	20	900	128	0,01	1,28
46	20	920	133,5	0,01	1,335
47	20	940	138	0,01	1,38
48	20	732	270	0,01	2,7
49	20	682	276	0,01	2,76
50	20	670	280	0,01	2,8
51	20	660	281	0,01	2,81
52	20	653	282,5	0,01	2,825
53	20	640	284	0,01	2,84
54	20	635	285,5	0,01	2,855
55	20	631	286	0,01	2,86
56	20	624	286,5	0,01	2,865
57	20	621	287	0,01	2,87
58	20	617	287	0,01	2,87
59	20	614	287	0,01	2,87
60	20	607	288	0,01	2,88
61	20	600	288	0,01	2,88
62	20	594	288,5	0,01	2,885
63	20	585	289	0,01	2,89
64	20	578	290	0,01	2,9
65	20	381	291	0,01	2,91

GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN BALOK *PULL* - OUT A1B2 - 2



➤ Balok Pull-Out A1B1 - 1

Nama Benda Uji = A1B1 - 1

Tanggal Pengecoran = 13 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 10 Juni 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

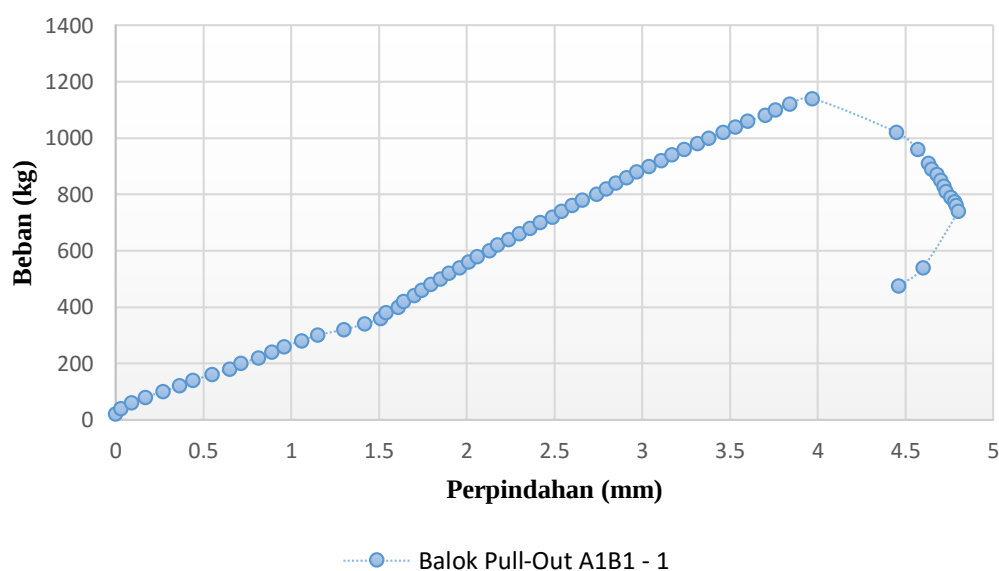
Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	0	0,01	0
2	20	40	3	0,01	0,03
3	20	60	9	0,01	0,09
4	20	80	17	0,01	0,17
5	20	100	27	0,01	0,27
6	20	120	36,5	0,01	0,365
7	20	140	44	0,01	0,44
8	20	160	55	0,01	0,55
9	20	180	65	0,01	0,65
10	20	200	71,5	0,01	0,715
11	20	220	81,5	0,01	0,815
12	20	240	89	0,01	0,89
13	20	260	96	0,01	0,96

14	20	280	106	0,01	1,06
15	20	300	115	0,01	1,15
16	20	320	130	0,01	1,3
17	20	340	142	0,01	1,42
18	20	360	151	0,01	1,51
19	20	380	154	0,01	1,54
20	20	400	161	0,01	1,61
21	20	420	164	0,01	1,64
22	20	440	170	0,01	1,7
23	20	460	174,5	0,01	1,745
24	20	480	179,5	0,01	1,795
25	20	500	185	0,01	1,85
26	20	520	190	0,01	1,9
27	20	540	196	0,01	1,96
28	20	560	201	0,01	2,01
29	20	580	206	0,01	2,06
30	20	600	213	0,01	2,13
31	20	620	217,5	0,01	2,175
32	20	640	224	0,01	2,24
33	20	660	230	0,01	2,3
34	20	680	236	0,01	2,36
35	20	700	242	0,01	2,42
36	20	720	249	0,01	2,49
37	20	740	254	0,01	2,54
38	20	760	260	0,01	2,6
39	20	780	266	0,01	2,66
40	20	800	274	0,01	2,74
41	20	820	279,5	0,01	2,795
42	20	840	285	0,01	2,85
43	20	860	291	0,01	2,91
44	20	880	297	0,01	2,97
45	20	900	304	0,01	3,04
46	20	920	311	0,01	3,11
47	20	940	317	0,01	3,17
48	20	960	324	0,01	3,24
49	20	980	331,5	0,01	3,315
50	20	1000	338	0,01	3,38

51	20	1020	346	0,01	3,46
52	20	1040	353	0,01	3,53
53	20	1060	360	0,01	3,6
54	20	1080	370	0,01	3,7
55	20	1100	376	0,01	3,76
56	20	1120	384	0,01	3,84
57	20	1140	397	0,01	3,97
58	20	1020	445	0,01	4,45
59	20	960	457	0,01	4,57
60	20	910	463	0,01	4,63
61	20	890	465	0,01	4,65
62	20	870	468	0,01	4,68
63	20	850	470	0,01	4,7
64	20	830	472	0,01	4,72
65	20	810	473	0,01	4,73
66	20	790	476	0,01	4,76
67	20	775	478	0,01	4,78
68	20	760	479	0,01	4,79
69	20	740	480	0,01	4,8
70	20	540	460	0,01	4,6
71	20	475	446	0,01	4,46
72	20	340	415	0,01	4,15

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK PULL - OUT A1B1 - 1**



➤ **Balok Pull-Out A1B1 - 2**

Nama Benda Uji = A1B1 - 2

Tanggal Pengecoran = 13 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 10 Juni 2016

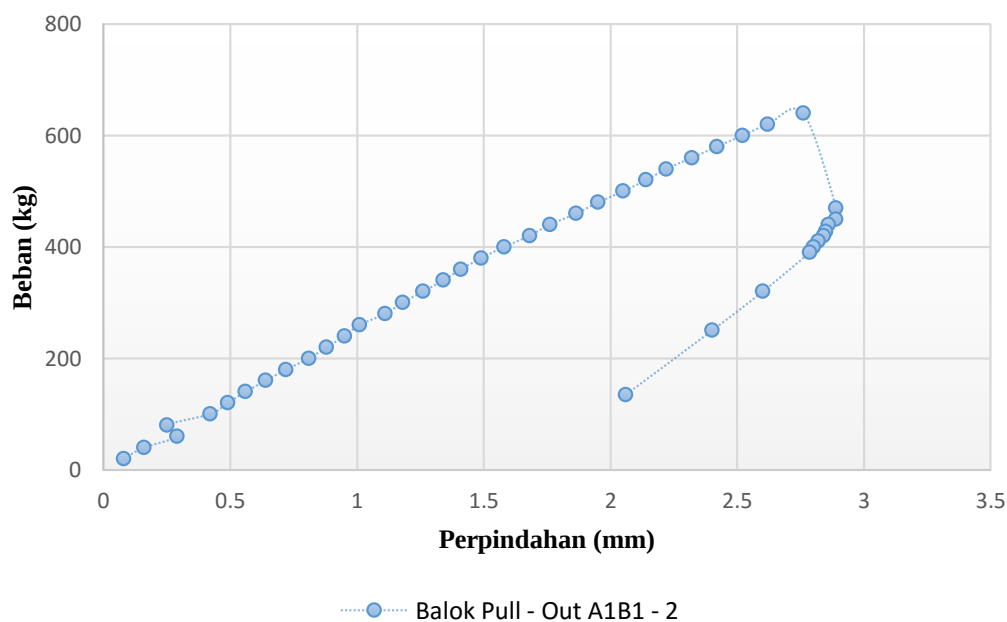
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	8	0,01	0,08
2	20	40	16	0,01	0,16
3	20	60	29	0,01	0,29
4	20	80	25	0,01	0,25
5	20	100	42	0,01	0,42
6	20	120	49	0,01	0,49
7	20	140	56	0,01	0,56
8	20	160	64	0,01	0,64
9	20	180	72	0,01	0,72
10	20	200	81	0,01	0,81
11	20	220	88	0,01	0,88
12	20	240	95	0,01	0,95
13	20	260	101	0,01	1,01
14	20	280	111	0,01	1,11
15	20	300	118	0,01	1,18
16	20	320	126	0,01	1,26
17	20	340	134	0,01	1,34
18	20	360	141	0,01	1,41
19	20	380	149	0,01	1,49
20	20	400	158	0,01	1,58
21	20	420	168	0,01	1,68
22	20	440	176	0,01	1,76
23	20	460	186,5	0,01	1,865
24	20	480	195	0,01	1,95
25	20	500	205	0,01	2,05
26	20	520	214	0,01	2,14
27	20	540	222	0,01	2,22
28	20	560	232	0,01	2,32

29	20	580	242	0,01	2,42
30	20	600	252	0,01	2,52
31	20	620	262	0,01	2,62
32	20	640	276	0,01	2,76
33	20	470	289	0,01	2,89
34	20	450	289	0,01	2,89
35	20	440	286	0,01	2,86
36	20	428	285	0,01	2,85
37	20	420	284	0,01	2,84
38	20	410	282	0,01	2,82
39	20	400	280	0,01	2,8
40	20	390	278,5	0,01	2,785
41	20	320	260	0,01	2,6
42	20	250	240	0,01	2,4
43	20	135	206	0,01	2,06

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK *PULL* - OUT A1B1 - 2**



➤ **Balok Pull-Out A2B2 - 1**

Nama Benda Uji = A2B2 - 1

Tanggal Pengecoran = 16 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 13 Juni 2016

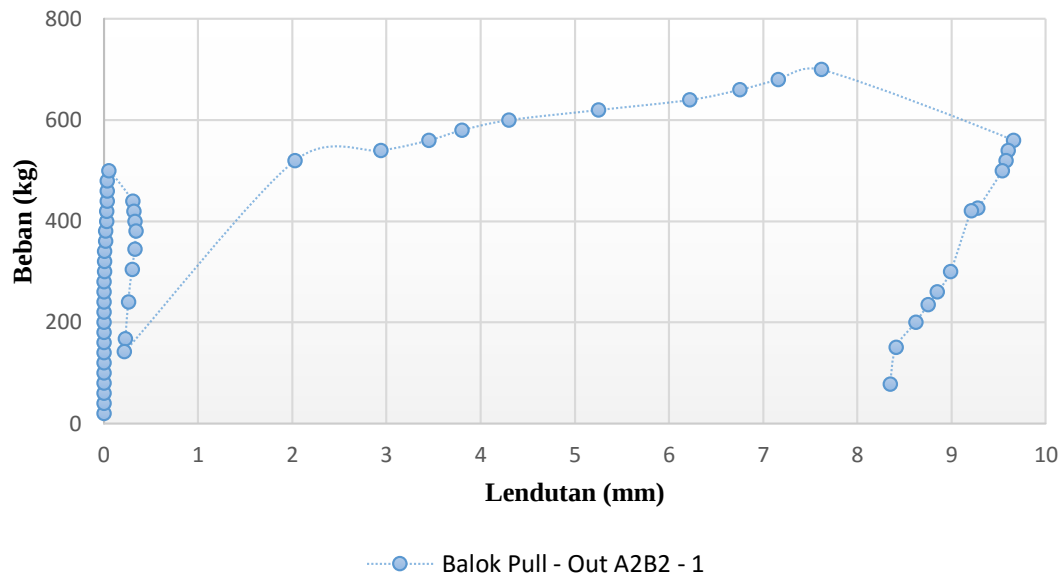
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	0	0,01	0
2	20	40	0	0,01	0
3	20	60	0	0,01	0
4	20	80	0	0,01	0
5	20	100	0	0,01	0
6	20	120	0	0,01	0
7	20	140	0	0,01	0
8	20	160	0	0,01	0
9	20	180	0	0,01	0
10	20	200	0	0,01	0
11	20	220	0	0,01	0
12	20	240	0	0,01	0
13	20	260	0	0,01	0
14	20	280	0	0,01	0
15	20	300	1	0,01	0,01
16	20	320	1	0,01	0,01
17	20	340	1	0,01	0,01
18	20	360	2	0,01	0,02
19	20	380	2	0,01	0,02
20	20	400	3	0,01	0,03
21	20	420	3	0,01	0,03
22	20	440	3,5	0,01	0,035
23	20	460	3,5	0,01	0,035
24	20	480	3,5	0,01	0,035
25	20	500	5,5	0,01	0,055
26	20	440	31	0,01	0,31
27	20	420	32	0,01	0,32
28	20	400	33	0,01	0,33

29	20	380	34	0,01	0,34
30	20	345	33	0,01	0,33
31	20	305	30	0,01	0,3
32	20	240	26	0,01	0,26
33	20	167	23	0,01	0,23
34	20	142	22	0,01	0,22
35	20	520	203	0,01	2,03
36	20	540	294	0,01	2,94
37	20	560	345	0,01	3,45
38	20	580	380	0,01	3,8
39	20	600	430	0,01	4,3
40	20	620	525	0,01	5,25
41	20	640	622	0,01	6,22
42	20	660	675	0,01	6,75
43	20	680	716	0,01	7,16
44	20	700	762	0,01	7,62
45	20	560	966	0,01	9,66
46	20	540	960	0,01	9,6
47	20	520	958	0,01	9,58
48	20	500	954	0,01	9,54
49	20	426	928	0,01	9,28
50	20	421	921	0,01	9,21
51	20	300	899	0,01	8,99
52	20	260	885	0,01	8,85
53	20	235	875	0,01	8,75
54	20	200	862	0,01	8,62
55	20	150	841	0,01	8,41
56	20	78	835	0,01	8,35

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK PULL - OUT A2B2 - 1**



➤ **Balok Pull-Out A2B2 - 2**

Nama Benda Uji = A2B2 - 2

Tanggal Pengecoran = 16 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 13 Juni 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

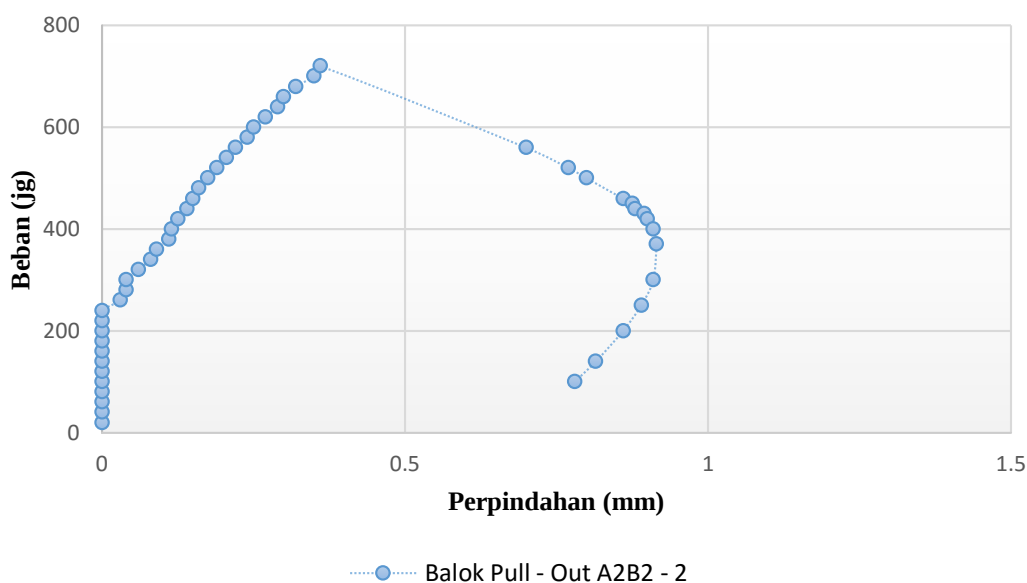
Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	0	0,01	0
2	20	40	0	0,01	0
3	20	60	0	0,01	0
4	20	80	0	0,01	0
5	20	100	0	0,01	0
6	20	120	0	0,01	0
7	20	140	0	0,01	0
8	20	160	0	0,01	0
9	20	180	0	0,01	0
10	20	200	0	0,01	0
11	20	220	0	0,01	0
12	20	240	0	0,01	0
13	20	260	3	0,01	0,03

14	20	280	4	0,01	0,04
15	20	300	4	0,01	0,04
16	20	320	6	0,01	0,06
17	20	340	8	0,01	0,08
18	20	360	9	0,01	0,09
19	20	380	11	0,01	0,11
20	20	400	11,5	0,01	0,115
21	20	420	12,5	0,01	0,125
22	20	440	14	0,01	0,14
23	20	460	15	0,01	0,15
24	20	480	16	0,01	0,16
25	20	500	17,5	0,01	0,175
26	20	520	19	0,01	0,19
27	20	540	20,5	0,01	0,205
28	20	560	22	0,01	0,22
29	20	580	24	0,01	0,24
30	20	600	25	0,01	0,25
31	20	620	27	0,01	0,27
32	20	640	29	0,01	0,29
33	20	660	30	0,01	0,3
34	20	680	32	0,01	0,32
35	20	700	35	0,01	0,35
36	20	720	36	0,01	0,36
37	20	560	70	0,01	0,7
38	20	520	77	0,01	0,77
39	20	500	80	0,01	0,8
40	20	460	86	0,01	0,86
41	20	450	87,5	0,01	0,875
42	20	440	88	0,01	0,88
43	20	430	89,5	0,01	0,895
44	20	420	90	0,01	0,9
45	20	400	91	0,01	0,91
46	20	370	91,5	0,01	0,915
47	20	300	91	0,01	0,91
48	20	250	89	0,01	0,89
49	20	200	86	0,01	0,86
50	20	140	81,5	0,01	0,815

51 20 100 78 0,01 0,78

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK PULL - OUT A2B2 - 2**



➤ **Balok Pull-Out A2B1 - 1**

Nama Benda Uji = A2B1 - 1

Tanggal Pengecoran = 19 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 16 Juni 2016

Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

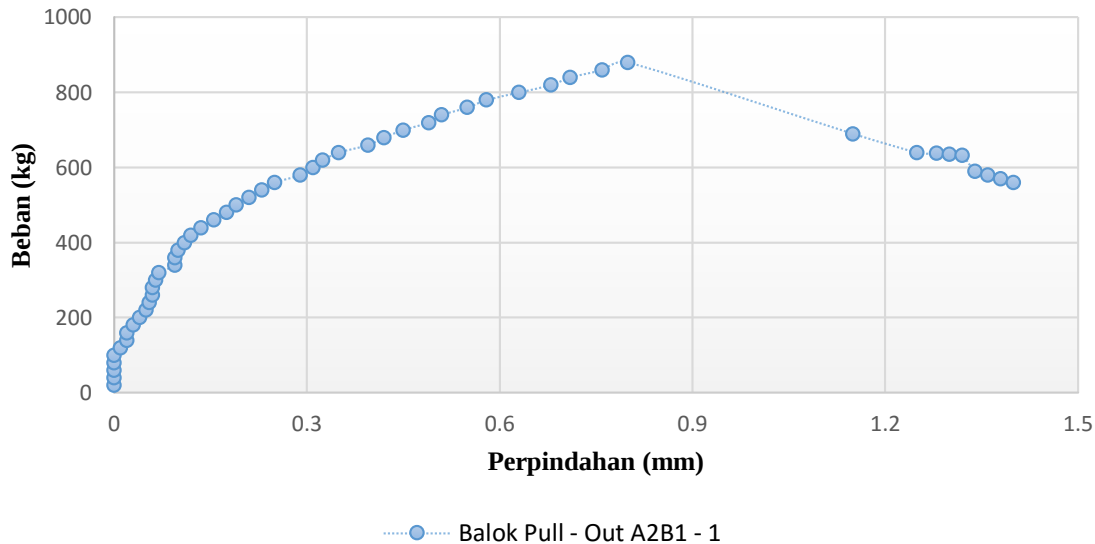
Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	0	0,01	0
2	20	40	0	0,01	0
3	20	60	0	0,01	0
4	20	80	0	0,01	0
5	20	100	0	0,01	0
6	20	120	1	0,01	0,01
7	20	140	2	0,01	0,02
8	20	160	2	0,01	0,02
9	20	180	3	0,01	0,03
10	20	200	4	0,01	0,04
11	20	220	5	0,01	0,05
12	20	240	5,5	0,01	0,055

13	20	260	6	0,01	0,06
14	20	280	6	0,01	0,06
15	20	300	6,5	0,01	0,065
16	20	320	7	0,01	0,07
17	20	340	9,5	0,01	0,095
18	20	360	9,5	0,01	0,095
19	20	380	10	0,01	0,1
20	20	400	11	0,01	0,11
21	20	420	12	0,01	0,12
22	20	440	13,5	0,01	0,135
23	20	460	15,5	0,01	0,155
24	20	480	17,5	0,01	0,175
25	20	500	19	0,01	0,19
26	20	520	21	0,01	0,21
27	20	540	23	0,01	0,23
28	20	560	25	0,01	0,25
29	20	580	29	0,01	0,29
30	20	600	31	0,01	0,31
31	20	620	32,5	0,01	0,325
32	20	640	35	0,01	0,35
33	20	660	39,5	0,01	0,395
34	20	680	42	0,01	0,42
35	20	700	45	0,01	0,45
36	20	720	49	0,01	0,49
37	20	740	51	0,01	0,51
38	20	760	55	0,01	0,55
39	20	780	58	0,01	0,58
40	20	800	63	0,01	0,63
41	20	820	68	0,01	0,68
42	20	840	71	0,01	0,71
43	20	860	76	0,01	0,76
44	20	880	80	0,01	0,8
45	20	690	115	0,01	1,15
46	20	640	125	0,01	1,25
47	20	638	128	0,01	1,28
48	20	635	130	0,01	1,3
49	20	632	132	0,01	1,32

50	20	590	134	0,01	1,34
51	20	580	136	0,01	1,36
52	20	570	138	0,01	1,38
53	20	560	140	0,01	1,4

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK PULL - OUT A2B1 - 1**



➤ **Balok Pull-Out A2B1 - 2**

Nama Benda Uji = A2B1 - 2

Tanggal Pengecoran = 19 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 16 Juni 2016

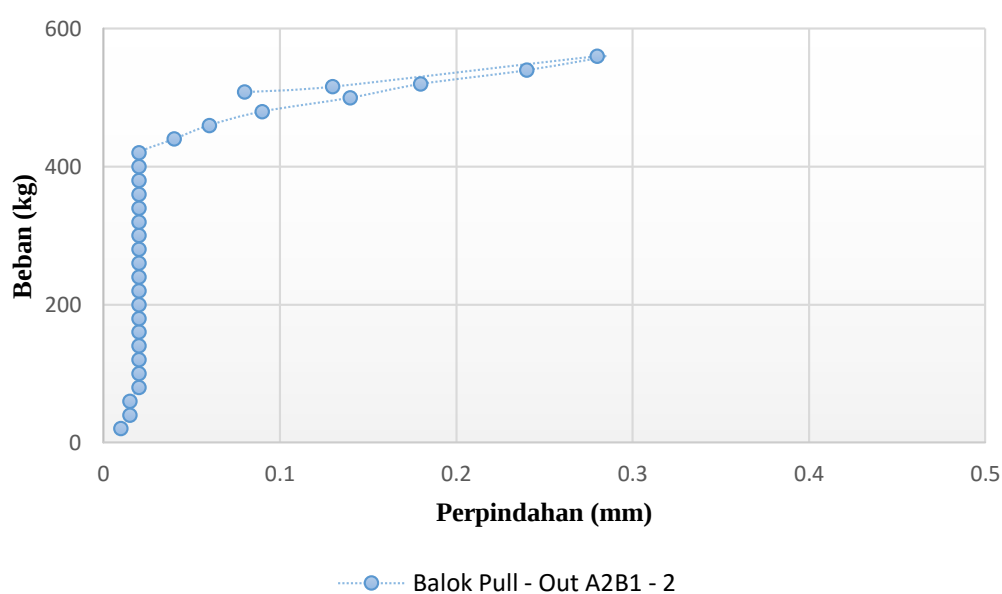
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	1	0,01	0,01
2	20	40	1,5	0,01	0,015
3	20	60	1,5	0,01	0,015
4	20	80	2	0,01	0,02
5	20	100	2	0,01	0,02
6	20	120	2	0,01	0,02
7	20	140	2	0,01	0,02
8	20	160	2	0,01	0,02
9	20	180	2	0,01	0,02
10	20	200	2	0,01	0,02

11	20	220	2	0,01	0,02
12	20	240	2	0,01	0,02
13	20	260	2	0,01	0,02
14	20	280	2	0,01	0,02
15	20	300	2	0,01	0,02
16	20	320	2	0,01	0,02
17	20	340	2	0,01	0,02
18	20	360	2	0,01	0,02
19	20	380	2	0,01	0,02
20	20	400	2	0,01	0,02
21	20	420	2	0,01	0,02
22	20	440	4	0,01	0,04
23	20	460	6	0,01	0,06
24	20	480	9	0,01	0,09
25	20	500	14	0,01	0,14
26	20	520	18	0,01	0,18
27	20	540	24	0,01	0,24
28	20	560	28	0,01	0,28
29	20	516	13	0,01	0,13
30	20	508	8	0,01	0,08

**GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK PULL - OUT A2B1 - 2**



➤ **Balok Pull-Out A0B2 - 1**

Nama Benda Uji = A0B2 - 1

Tanggal Pengecoran = 19 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 18 Juni 2016

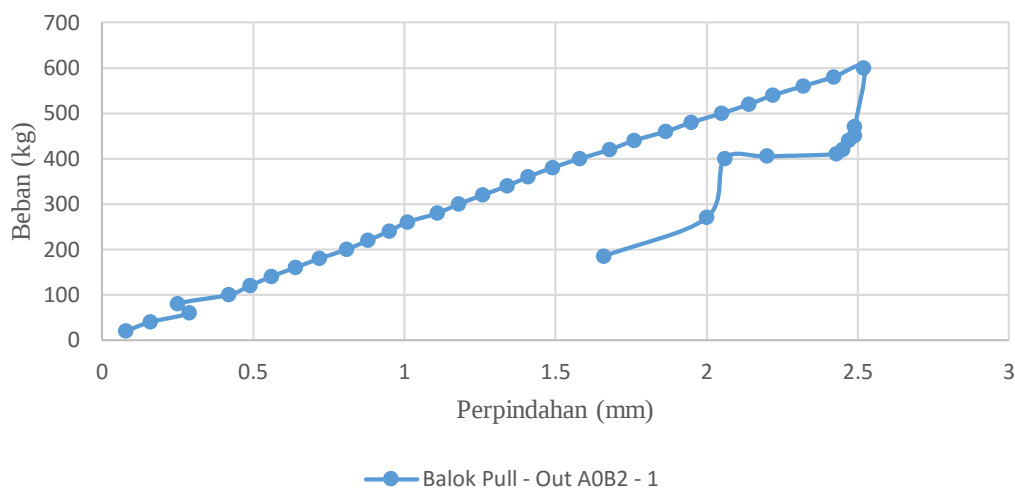
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 30 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	8	0,01	0,08
2	20	40	16	0,01	0,16
3	20	60	29	0,01	0,29
4	20	80	25	0,01	0,25
5	20	100	42	0,01	0,42
6	20	120	49	0,01	0,49
7	20	140	56	0,01	0,56
8	20	160	64	0,01	0,64
9	20	180	72	0,01	0,72
10	20	200	81	0,01	0,81
11	20	220	88	0,01	0,88
12	20	240	95	0,01	0,95
13	20	260	101	0,01	1,01
14	20	280	111	0,01	1,11
15	20	300	118	0,01	1,18
16	20	320	126	0,01	1,26
17	20	340	134	0,01	1,34
18	20	360	141	0,01	1,41
19	20	380	149	0,01	1,49
20	20	400	158	0,01	1,58
21	20	420	168	0,01	1,68
22	20	440	176	0,01	1,76
23	20	460	186,5	0,01	1,865
24	20	480	195	0,01	1,95
25	20	500	205	0,01	2,05
26	20	520	214	0,01	2,14
27	20	540	222	0,01	2,22
28	20	560	232	0,01	2,32
29	20	580	242	0,01	2,42
30	20	600	252	0,01	2,52
33	20	470	249	0,01	2,49
34	20	450	249	0,01	2,49
35	20	440	247	0,01	2,47
36	20	420	245	0,01	2,45

37	20	410	243	0,01	2,43
38	20	405	220	0,01	2,2
39	20	400	206	0,01	2,06
40	20	270	200	0,01	2
41	20	185	166	0,01	1,66

GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK PULL - OUT A0B2 - 1



➤ **Balok Pull-Out A0B2 - 2**

Nama Benda Uji = A0B2 - 2

Tanggal Pengecoran = 19 Mei 2016

Tanggal Pengujian = 16 Juni 2016

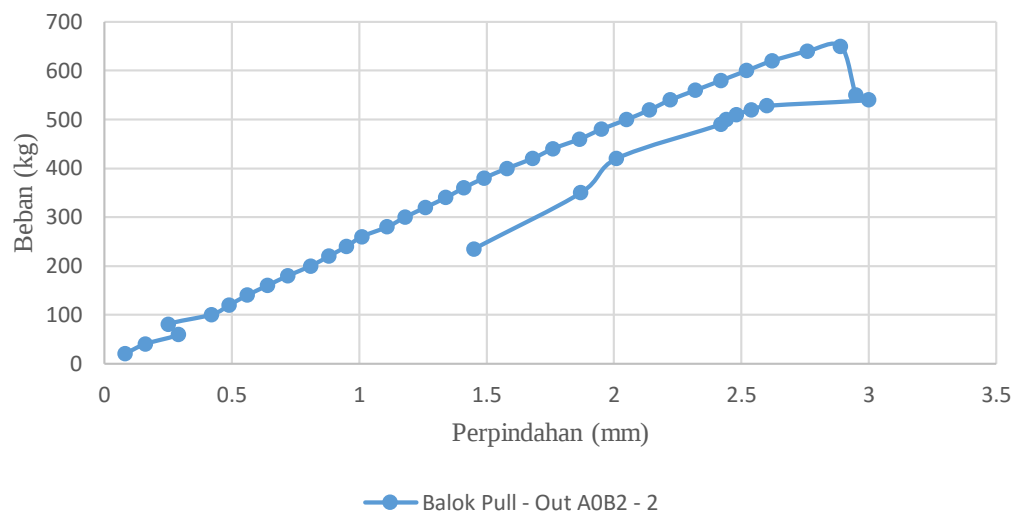
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 30 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpindahan Total (mm)
			Perpindahan (mm)	1/100	
1	20	20	8	0,01	0,08
2	20	40	16	0,01	0,16
3	20	60	29	0,01	0,29
4	20	80	25	0,01	0,25
5	20	100	42	0,01	0,42
6	20	120	49	0,01	0,49
7	20	140	56	0,01	0,56
8	20	160	64	0,01	0,64
9	20	180	72	0,01	0,72
10	20	200	81	0,01	0,81
11	20	220	88	0,01	0,88

12	20	240	95	0,01	0,95
13	20	260	101	0,01	1,01
14	20	280	111	0,01	1,11
15	20	300	118	0,01	1,18
16	20	320	126	0,01	1,26
17	20	340	134	0,01	1,34
18	20	360	141	0,01	1,41
19	20	380	149	0,01	1,49
20	20	400	158	0,01	1,58
21	20	420	168	0,01	1,68
22	20	440	176	0,01	1,76
23	20	460	186,5	0,01	1,865
24	20	480	195	0,01	1,95
25	20	500	205	0,01	2,05
26	20	520	214	0,01	2,14
27	20	540	222	0,01	2,22
28	20	560	232	0,01	2,32
29	20	580	242	0,01	2,42
30	20	600	252	0,01	2,52
31	20	620	262	0,01	2,62
32	20	640	276	0,01	2,76
33	20	650	289	0,01	2,89
34	20	550	295	0,01	2,95
35	20	540	300	0,01	3
36	20	528	260	0,01	2,6
37	20	520	254	0,01	2,54
38	20	510	248	0,01	2,48
39	20	500	244	0,01	2,44
40	20	490	242	0,01	2,42
41	20	420	201	0,01	2,01
42	20	350	187	0,01	1,87
43	20	235	145	0,01	1,45

GRAFIK HUBUNGAN BEBAN DAN PERPINDAHAN
BALOK PULL - OUT A0B2 - 2



Lampiran 4 Perhitungan Lendutan Balok**➤ Untuk Komposisi Balok A2B2C1**

Diketahui :

$$P = 200 \text{ kg} = 2000 \text{ N}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 170 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$w_c = 1855,26 \text{ kg/m}^3$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$f'c = 19,29 \text{ Mpa}$$

$$a = 550 \text{ mm}$$

Inersia Sumbu

$$I_x = \frac{1}{12} \times b \times d^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times b^3 \times d$$

$$= \frac{1}{12} \times 150 \times 200^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 150^3 \times 200$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4$$

$$= 56250000 \text{ mm}^4$$

Modulus Elastisitas

$$E_c = 0,043 \times w_c^{1,5} \times \sqrt{f'c}$$

$$= 0,043 \times 1855,26^{1,5} \times \sqrt{19,29}$$

$$= 15090,41 \text{ N/mm}^2$$

$$EI = E_c \times I_x$$

$$= 15090,41 \times 100000000$$

$$= 1509041267406,99 \text{ Nmm}^2$$

Didapatkan nilai momen pada tengah bentang dan nilai Q sebagai berikut:

$$M = R_A \times a$$

$$= \frac{P}{2} \times a$$

$$= \frac{2000}{2} \times 550$$

$$= 550000 \text{ Nmm}$$

$$Q_1 = \frac{1}{2} \times a \times M$$

$$= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000$$

$$= 151250000 \text{ Nmm}^2$$

$$Q_2 = (L - 2a) \times M$$

$$= (1500 - 2 \times 550) \times 550000$$

$$= 220000000 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= \frac{1}{2} \times a \times M \\
 &= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000 \\
 &= 151250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RA' &= \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{2} \\
 &= \frac{(151250000 + 220000000 + 151250000)}{2} \\
 &= 261250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{konjugate} &= (R'_A \times (a + 200)) - \left(Q_1 \times \left(\frac{1}{3} a \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times Q_2 \times (L - 2a) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= (261250000 \times 750) - \left(151250000 \times \left(\frac{1}{3} \times 550 \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 220000000 \times (1500 - 2 \times 550) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= 126958333333,33 \text{ Nmm}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \frac{M_{konjugate}}{EI} \\
 \Delta &= \frac{126958333333,33 \text{ Nmm}^3}{1509041267406,99 \text{ Nmm}^2} \\
 \Delta &= 0,0841 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ Untuk Komposisi Balok A1B1C1

Diketahui :

$P = 200 \text{ kg} = 2000 \text{ N}$	$d' = 30 \text{ mm}$
$L = 1500 \text{ mm}$	$d = 170 \text{ mm}$
$b = 150 \text{ mm}$	$w_c = 1978,92 \text{ kg/m}^3$
$h = 200 \text{ mm}$	$f'c = 20,39 \text{ Mpa}$
$a = 550 \text{ mm}$	

Inersia Sumbu

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} \times b \times d^3 & I_y &= \frac{1}{12} \times b^3 \times d \\
 &= \frac{1}{12} \times 150 \times 200^3 & &= \frac{1}{12} \times 150^3 \times 200 \\
 &= 100000000 \text{ mm}^4 & &= 56250000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus Elastisitas

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0,043 \times w_c^{1,5} \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 0,043 \times 1978,92^{1,5} \times \sqrt{20,39} \\
 &= 17092,88 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI &= E_c \times I_x \\
 &= 17092,88 \times 100000000 \\
 &= 1709288360715,56 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai momen pada tengah bentang dan nilai Q sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M &= R_A \times a \\
 &= \frac{P}{2} \times a \\
 &= \frac{2000}{2} \times 550 = 550000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \frac{1}{2} \times a \times M \\
 &= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000 \\
 &= 151250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= (L - 2a) \times M \\
 &= (1500 - 2 \times 550) \times 550000 \\
 &= 220000000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= \frac{1}{2} \times a \times M \\
 &= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000 \\
 &= 151250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RA' &= \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{2} \\
 &= \frac{(151250000 + 220000000 + 151250000)}{2} \\
 &= 261250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{konjugate} &= (R'_A \times (a + 200)) - \left(Q_1 \times \left(\frac{1}{3} a \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times Q_2 \times (L - 2a) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= (261250000 \times 750) - \left(151250000 \times \left(\frac{1}{3} \times 550 \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 220000000 \times (1500 - 2 \times 550) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= 126958333333,33 \text{ Nmm}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

$$\Delta = \frac{M_{konjugate}}{EI}$$

$$\Delta = \frac{12695833333,33 \text{ Nmm}^3}{1709288360715,56 \text{ Nmm}^2}$$

$$\Delta = 0,0743 \text{ mm}$$

➤ **Untuk Komposisi Balok A2B1C2**

Diketahui :

$$P = 200 \text{ kg} = 2000 \text{ N}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 170 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$w_c = 1995,27 \text{ kg/m}^3$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$f'c = 20,90 \text{ Mpa}$$

$$a = 550 \text{ mm}$$

Inersia Sumbu

$$I_x = \frac{1}{12} x b x d^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} x b^3 x d$$

$$= \frac{1}{12} x 150 x 200^3$$

$$= \frac{1}{12} x 150^3 x 200$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4$$

$$= 56250000 \text{ mm}^4$$

Modulus Elastisitas

$$E_c = 0,043 x w_c^{1,5} x \sqrt{f'c}$$

$$= 0,043 x 1995,27^{1,5} x \sqrt{20,90}$$

$$= 17521,563 \text{ N/mm}^2$$

$$EI = E_c x I_x$$

$$= 17521,563 x 100000000$$

$$= 1752156345977,38 \text{ Nmm}^2$$

Didapatkan nilai momen pada tengah bentang dan nilai Q sebagai berikut:

$$M = R_A x a$$

$$= \frac{P}{2} x a$$

$$= \frac{2000}{2} x 550$$

$$= 550000 \text{ Nmm}$$

$$Q_1 = \frac{1}{2} \times a \times M$$

$$= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000$$

$$= 151250000 \text{ Nmm}^2$$

$$Q_2 = (L - 2a) \times M$$

$$= (1500 - 2 \times 550) \times 550000$$

$$= 220000000 \text{ Nmm}^2$$

$$Q_3 = \frac{1}{2} \times a \times M$$

$$= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000$$

$$= 151250000 \text{ Nmm}^2$$

$$R_A' = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{2}$$

$$= \frac{(151250000 + 220000000 + 151250000)}{2}$$

$$= 261250000 \text{ Nmm}^2$$

$$M_{konjugate} = (R_A' \times (a + 200)) - \left(Q_1 \times \left(\frac{1}{3} a \right) + 200 \right) -$$

$$\left(\frac{1}{2} \times Q_2 \times (L - 2a) \times \frac{1}{4} \right)$$

$$= (261250000 \times 750) - \left(151250000 \times \left(\frac{1}{3} \times 550 \right) + 200 \right) -$$

$$\left(\frac{1}{2} \times 220000000 \times (1500 - 2 \times 550) \times \frac{1}{4} \right)$$

$$= 126958333333,33 \text{ Nmm}^3$$

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

$$\Delta = \frac{M_{konjugate}}{EI}$$

$$\Delta = \frac{126958333333,33 \text{ Nmm}^3}{1752156345977,38 \text{ Nmm}^2}$$

$$\Delta = 0,0725 \text{ mm}$$

➤ Untuk Komposisi Balok Kontrol 1 A0B2C1

Diketahui :

$$P = 200 \text{ kg} = 2000 \text{ N}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 170 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$w_c = 1903,89 \text{ kg/m}^3$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$f'_c = 14,93 \text{ Mpa}$$

$$a = 550 \text{ mm}$$

Inersia Sumbu

$$I_x = \frac{1}{12} x b x d^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} x b^3 x d$$

$$= \frac{1}{12} x 150 x 200^3$$

$$= \frac{1}{12} x 150^3 x 200$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4$$

$$= 56250000 \text{ mm}^4$$

Modulus Elastisitas

$$E_c = 0,043 x w_c^{1,5} x \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,043 x 1903,89^{1,5} x \sqrt{14,93}$$

$$= 13804,11 \text{ N/mm}^2$$

$$EI = E_c x I_x$$

$$= 13804,11 x 100000000$$

$$= 1380411432471,07 \text{ Nmm}^2$$

Didapatkan nilai momen pada tengah bentang dan nilai Q sebagai berikut:

$$M = R_A x a$$

$$= \frac{P}{2} x a$$

$$= \frac{2000}{2} x 550$$

$$= 550000 \text{ Nmm}$$

$$Q_1 = \frac{1}{2} x a x M$$

$$= \frac{1}{2} x 550 x 550000$$

$$= 151250000 \text{ Nmm}^2$$

$$Q_2 = (L - 2a) x M$$

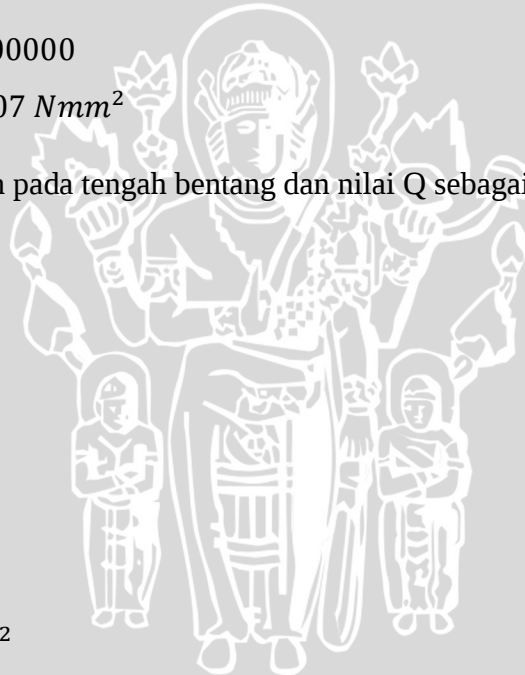
$$= (1500 - 2 x 550) x 550000$$

$$= 220000000 \text{ Nmm}^2$$

$$Q_3 = \frac{1}{2} x a x M$$

$$= \frac{1}{2} x 550 x 550000$$

$$= 151250000 \text{ Nmm}^2$$



$$\begin{aligned}
 RA' &= \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{2} \\
 &= \frac{(151250000 + 220000000 + 151250000)}{2} \\
 &= 261250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{konjugate} &= (R'_A \times (a + 200)) - \left(Q_1 \times \left(\frac{1}{3} a \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times Q_2 \times (L - 2a) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= (261250000 \times 750) - \left(151250000 \times \left(\frac{1}{3} \times 550 \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 220000000 \times (1500 - 2 \times 550) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= 126958333333,33 \text{ Nmm}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \frac{M_{konjugate}}{EI} \\
 \Delta &= \frac{126958333333,33 \text{ Nmm}^3}{1380411432471,07 \text{ Nmm}^2} \\
 \Delta &= 0,920 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ **Untuk Komposisi Balok Beton Normal**

Diketahui :

$P = 200 \text{ kg} = 2000 \text{ N}$	$d' = 30 \text{ mm}$
$L = 1500 \text{ mm}$	$d = 170 \text{ mm}$
$b = 150 \text{ mm}$	$w_c = 2287,12 \text{ kg/m}^3$
$h = 200 \text{ mm}$	$f'_c = 16,8 \text{ Mpa}$
$a = 550 \text{ mm}$	

Inersia Sumbu

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} \times b \times d^3 & I_y &= \frac{1}{12} \times b^3 \times d \\
 &= \frac{1}{12} \times 150 \times 200^3 & &= \frac{1}{12} \times 150^3 \times 200 \\
 &= 100000000 \text{ mm}^4 & &= 56250000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus Elastisitas

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0,043 \times w_c^{1,5} \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 0,043 \times 2287,12^{1,5} \times \sqrt{16,8} \\
 &= 19276,73 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI &= E_c \times I_x \\
 &= 19275,73 \times 100000000 \\
 &= 1927673010699,90 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai momen pada tengah bentang dan nilai Q sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M &= R_A \times a \\
 &= \frac{P}{2} \times a \\
 &= \frac{2000}{2} \times 550 \\
 &= 550000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \frac{1}{2} \times a \times M \\
 &= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000 \\
 &= 151250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= (L - 2a) \times M \\
 &= (1500 - 2 \times 550) \times 550000 \\
 &= 220000000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= \frac{1}{2} \times a \times M \\
 &= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000 \\
 &= 151250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RA' &= \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{2} \\
 &= \frac{(151250000 + 220000000 + 151250000)}{2} \\
 &= 261250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{konjugate} &= (R'_A \times (a + 200)) - \left(Q_1 \times \left(\frac{1}{3} a \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times Q_2 \times (L - 2a) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= (261250000 \times 750) - \left(151250000 \times \left(\frac{1}{3} \times 550 \right) + 200 \right) - \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 220000000 \times (1500 - 2 \times 550) \times \frac{1}{4} \right) \\
 &= 126958333333,33 \text{ Nmm}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

$$\Delta = \frac{M_{konjugate}}{EI}$$

$$\Delta = \frac{126958333333,33 \text{ Nmm}^3}{1927673010699,90 \text{ Nmm}^2}$$

$$\Delta = 0,0659 \text{ mm}$$



Lampiran 5 Mix Design Balok Kontrol Beton Normal

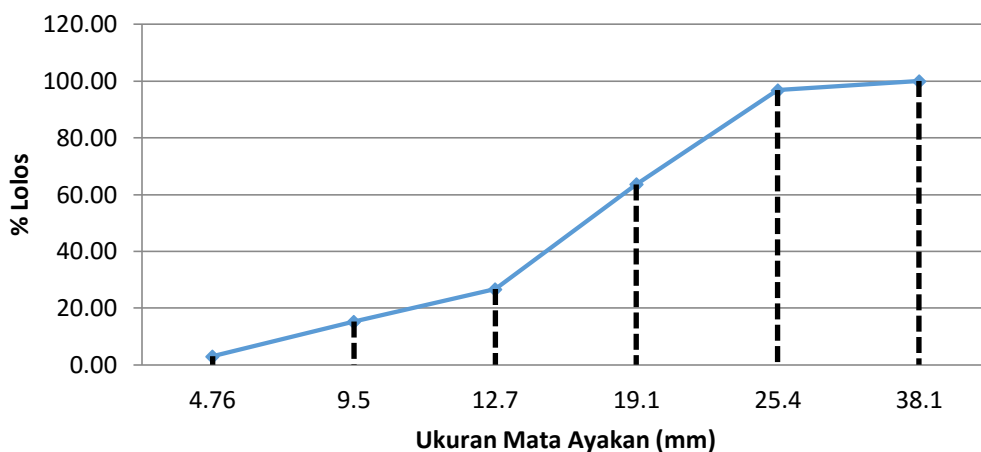
1. Analisa gradasi kasar

Lubang Saringan		Pasir			
no	mm	Tertinggal		%Kumulatif	
		gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	100
1"	25,4	320	3,21	3,21	96,79
0.75"	19,1	3300	33,13	36,35	63,65
0.5"	12,7	3680	36,95	73,29	26,71
0.375"	9,5	1140	11,45	84,74	15,26
4	4,76	1220	12,25	96,99	3,01
8	2,38	300	3,01	100,00	-
16	1,19	-	-	100,00	-
20	0,85	-	-	100,00	-
50	0,297	-	-	100,00	-
100	0,149	-	-	100,00	-
200	0,075	-	-	100,00	-
Pan		-	-	100,00	-
Σ =		9960	100,0	994,58	

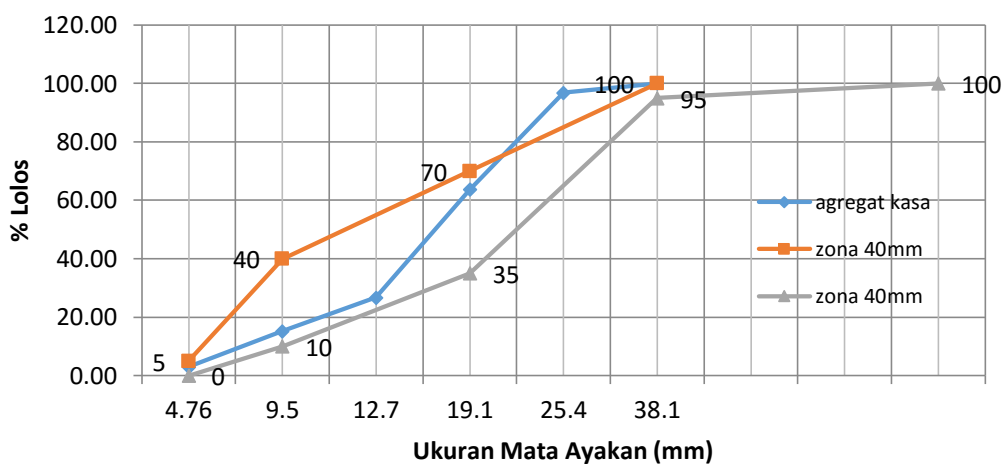
2. Analisa gradasi halus

Lubang Saringan		Pasir			
no	mm	Tertinggal		%Kumulatif	
		gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100
4	4,76	56,86	5,793	5,793	94,207
8	2,38	43,48	4,430	10,224	89,776
16	1,19	77,42	7,888	18,112	81,888
30	0,59	143,91	14,663	32,775	67,225
50	0,297	269,31	27,440	60,215	39,785
100	0,149	312,96	31,888	92,103	7,897
200	0,075	77,51	7,897	100,000	0,000
Pan		11,27	1,148	-	-
Σ =		981,45	100	319,222	

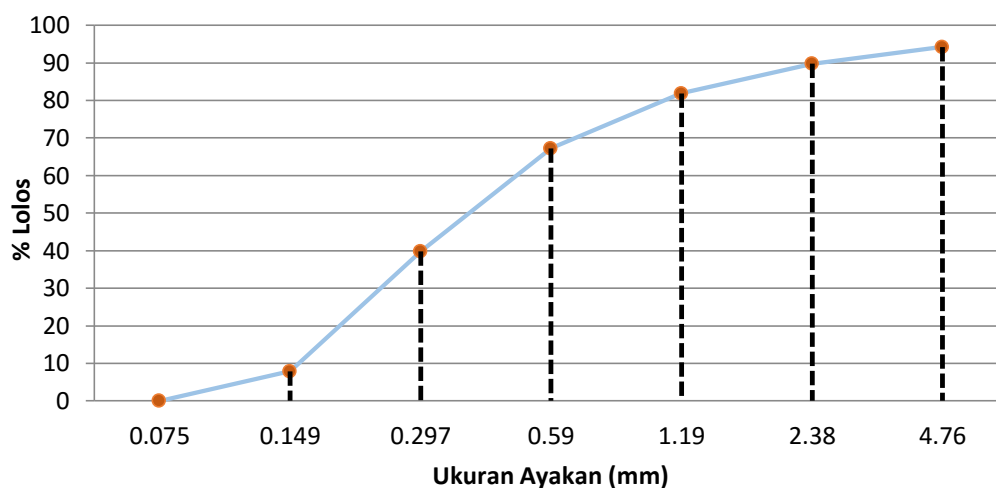
Grafik Lengkung Agregat Kasar



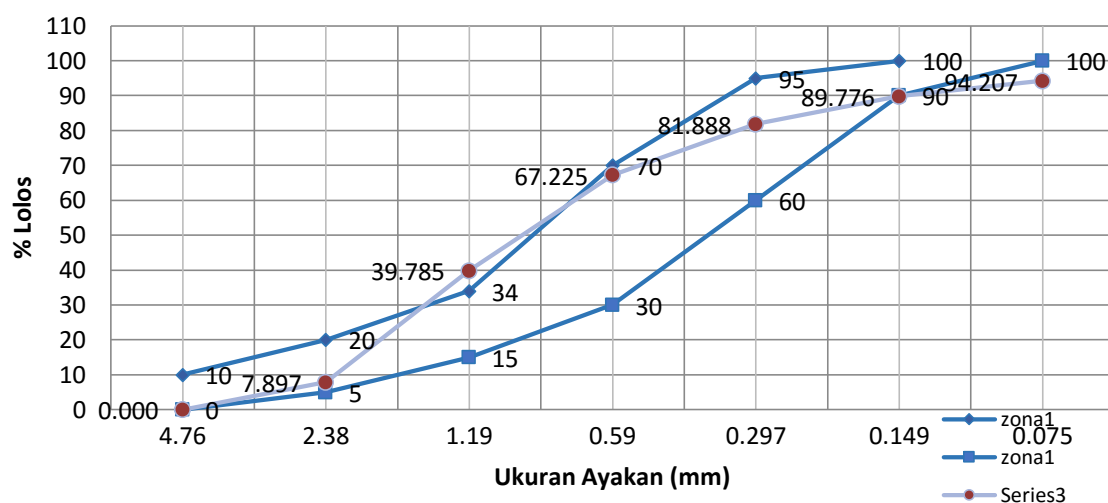
Grafik Lengkung Agregat Kasar Max 40mm



GRAFIK LENGKUNG AGREGAT KASAR



Grafik Lengkung Ayakan Pasir Zona 1



3. Berat jenis agregat kasar

Nomor Contoh			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5050
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4950
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3066

Nomor Contoh			B
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)		2,495
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)		2,545
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)		2,627
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%		2,020

4. Berat jenis agregat halus

NOMOR CONTOH			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	442,2
Berat benda uji dalam air	B	(gr)	666,3
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	975,1

NOMOR CONTOH			B
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(B+500-Bt)		2,313
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	500/(B+500-Bt)		2,615
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(B+Bk-Bt)		3,315
Penyerapan (%) (Absorption)	(500-Bk)/Bkx100%		13,071

5. Berat isi agregat kasar

1	Berat takaran	(gr)	1640	1640
2	Berat takaran + air	(gr)	4700	4700
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3060	3060
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3060	3060
CARA			RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6400	5800
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	4760	4160
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,5556	1,3595
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1,46	

6. Berat jenis agregat halus

1	Berat takaran	(gr)	1640	1640
2	Berat takaran + air	(gr)	4700	4700
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3060	3060
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3060	3060
CARA			RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6880	6300
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	5240	4660
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,7124	1,5229
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	1,618	

7. Perencanaan Mutu Beton

No	Uraian	Keterangan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	14 Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	12,5
3	Nilai Tambah (Margin)	$1,64 \cdot (2)$	20,5 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	$(1) + (3)$	14 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, Grafik 1/2	0,76
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,8
9	Slump	Ditetapkan	7,5 - 1,5 cm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	40 mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225 kg/m ³
12	Jumlah semen	$(11) : (8)$	296,053 kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	0
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275 kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3-6	Zona 2
17	Persen agregat halus	Grafik 13-15	39%
18	Berat Jenis Relatif Agregat (SSD)	Diketahui	2,573 kg/m ³
19	Berat isi beton	Grafik 16	2275 kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	$(19) - (11) - (12)$	1753,947 kg/m ³
21	Kadar agregat halus	$(17) \cdot (20)$	684,039 kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	$(20) - (21)$	1069,908 kg/m ³

8. Kebutuhan bahan untuk 1 kali ngecor

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/lt)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Teoritis)	296,05	225	684,039	1069,908
Tiap campuran uji 0,053 m ³	15,70	11,93	36,28	56,74
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Aktual)	296,05	225,00	684,039	1069,908
Tiap campuran uji 0,053 m ³	15,70	11,93	36,28	56,74
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1,00	0,76	2,31	3,61
Proporsi (Aktual)	1,00	0,76	2,31	3,61
Tiap 1 balok teoritis	14,21	10,8	32,83	51,36
Tiap 1 balok aktual	14,21	10,8	32,83	51,36

Lampiran 6 Gambar Persiapan Bahan

- Pengecatan Batu Apung



- Pelapisan Pasir pada Tulangan Bambu



- Pelapisan Pasir pada Serat Bambu



➤ Bahan untuk Pengecoran Beton



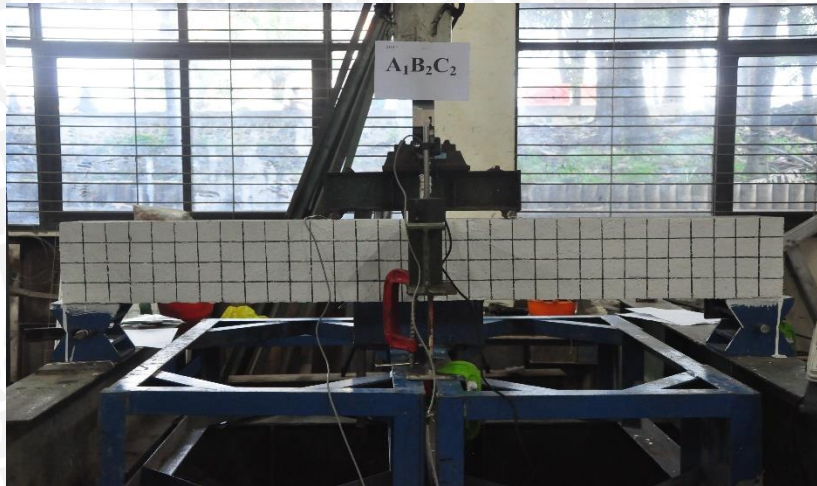
➤ Uji Slump



➤ Uji Kuat Tekan



➤ Setting Pengujian Balok

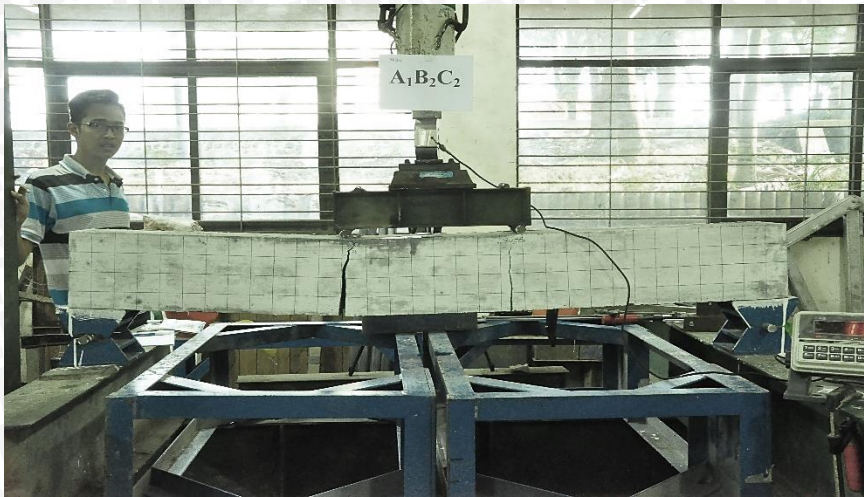


➤ Setting Pengujian *Pull-Out*

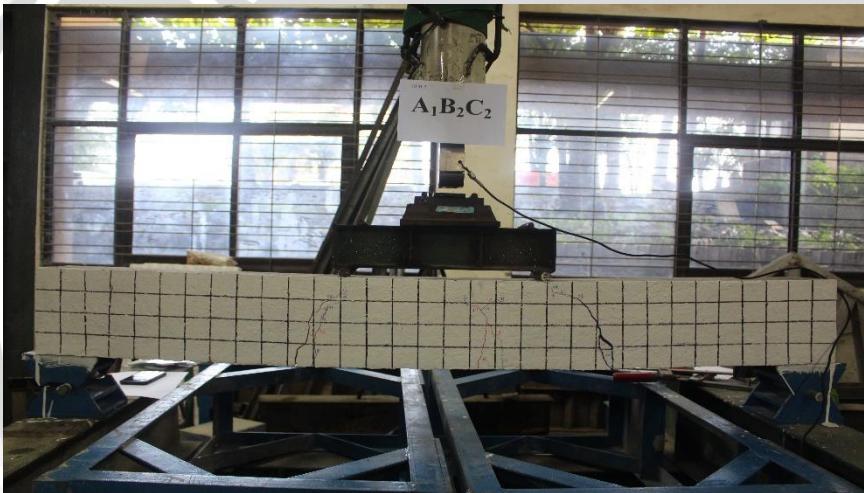


Lampiran 7 Gambar Hasil Pengujian Balok

- Balok A1B2C2 – 1



- Balok A1B2C2 – 2



- Balok A1B2C2 – 3



➤ Balok A2B2C1 – 1



➤ Balok A2B2C1 – 2



➤ Balok A2B2C1 – 3



➤ Balok A1B1C1 – 1



➤ Balok A1B1C1 – 2



➤ Balok A1B1C1 – 3



➤ Balok A2B1C2 – 1



➤ Balok A2B1C2 – 2



➤ Balok A2B1C2 – 3



➤ Balok A0B2C1



➤ Balok Kontrol Beton Normal



Lampiran 8 Gambar Hasil Pengujian Pull-Out

➤ Balok A1B2C2 – 1



➤ Balok A1B2C2 – 2



➤ Balok A2B2C2 – 3



➤ Balok A1B2C2 – 4



➤ Balok A1B2C2 – 5

