

**INTERAKSI ANTARA SERAT BAMBU DENGAN KOMPOSISI
SEMEN DAN AGREGAT KASAR BATU APUNG TERHADAP
KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG BAMBU**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD HAMZAH
NIM. 125060100111058

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

INTERAKSI ANTARA SERAT BAMBU DENGAN KOMPOSISI SEMEN DAN AGREGAT KASAR BATU APUNG TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG BAMBU

SKRIPSI TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD HAMZAH
NIM. 125060100111058

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 4 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 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Interaksi antara Serat Bambu dengan Komposisi Semen dan Agregat Kasar Batu Apung terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Bambu

Nama Mahasiswa : Muhammad Hamzah

NIM. : 125060100111058

Program Studi : Teknik Sipil

Tim Dosen Penguji :

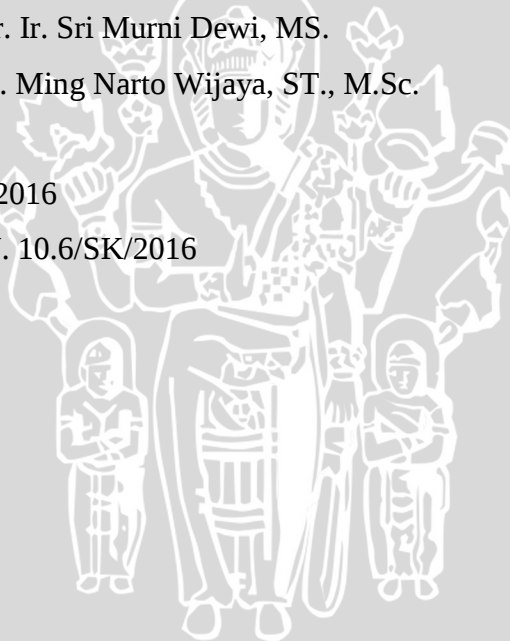
Dosen Penguji 1 : Christin Remayanti N., ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST., M.Sc.

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, 4 Agustus 2016

Mahasiswa,

Muhammad Hamzah

NIM. 125060100111058



RIWAYAT HIDUP

Muhammad Hamzah, kelahiran Malang, 11 September 1993, merupakan putra kedua dari ayah Djoko Prijanto dan ibu Sri Lestariati. Mulai menduduki bangku pendidikan dasar di SD Islam Sabilillah Kota Malang sejak tahun 2000 dan lulus pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan, di SMP Negeri 3 Kota Malang dan lulus pada tahun 2009. Dan pada tahun 2012 telah dinyatakan lulus dari SMA Negeri 4 Kota Malang Program Ilmu Pengetahuan Alam.

Selama menjalankan pendidikan di SMA Negeri 4 Kota Malang, telah aktif dalam beberapa kegiatan akademik seperti Olimpiade Kimia Tingkat Kota Malang 2010 oleh MAN 3 Malang dan Olimpiade Kimia Nasional 2011 oleh Universitas Negeri Malang. Sedangkan dalam kegiatan non-akademik, aktif dalam kegiatan ekstra kurikuler Bola Voli dan Badminton hingga menjelang lulus.

Pada tahun 2012 mulai menjejak bangku perguruan tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Selama masa kuliah, aktif dalam beberapa kegiatan akademik maupun non-akademik, meliputi penelitian bangunan gedung sederhana dalam Kompetisi Bangunan Gedung Indonesia VII dan aktif dalam kepengurusan Himpunan Mahasiswa Sipil Departemen Amara selama dua periode berturut-turut.

Malang, Agustus 2016

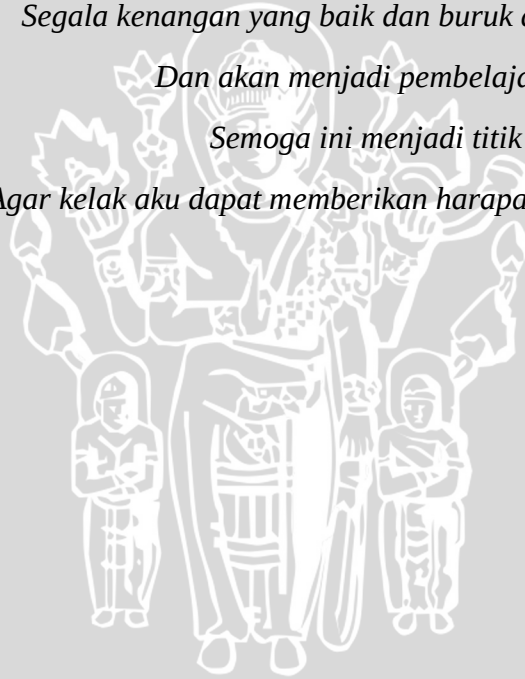
Penyusun

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Akhirnya telah sampai pada saat yang dinanti
Awal untuk memulai kembali perjalanan hidup
Segala kenangan yang baik dan buruk akan selalu tersimpan
Dan akan menjadi pembelajaran di kemudian hari
Semoga ini menjadi titik awal dari kesuksesan
Agar kelak aku dapat memberikan harapan yang kau impikan...





KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan hidayah-Nya lah skripsi dengan judul, “Interaksi Antara Serat Bambu dengan Komposisi Semen dan Agregat Kasar Batu Apung terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Bambu” dapat terselesaikan. Judul tersebut diambil, karena dibutuhkan inovasi – inovasi baru dalam teknologi konstruksi. Yang hakekatnya, ide – ide baru yang bermunculan dapat memberikan dampak positif, baik untuk diri sendiri, orang lain, maupun lingkungan sekitar. Dalam hal ini, teknologi yang dimaksud pada bidang konstruksi ialah beton ringan. Dimana, beton ringan memiliki berat sendiri yang lebih kecil daripada beton normal sehingga menimbulkan gaya gempa yang kecil. Seiring besarnya kebutuhan manusia dan sumber daya alam yang kian berkurang, maka membuat peneliti mencari alternatif bahan pengganti pada bidang ketekniksipilan.

Berdasarkan pemikiran tersebut, maka dalam naskah skripsi ini disusun sebuah pembahasan mengenai kekuatan lentur balok beton bertulang bambu. Serat bambu yang mempunyai kelebihan ringan dan mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik pada beton diharapkan menjadi pengisi yang berpengaruh dalam kuat lentur balok, meskipun sumber dayanya yang masih sulit dicari. Selain itu, penggunaan bambu sebagai tulangan dianggap memiliki kekuatan yang sama dengan tulangan baja.

Dalam penyusunan naskah ini, masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Hal ini disebabkan dari terbatasnya pengetahuan, pemahaman, dan kemampuan berpikir penyusun. Sehingga, masih dibutuhkan saran dan kritik yang bersifat membangun guna memperbaiki hasil yang lebih baik di suatu saat nanti. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi yang membaca dan mengkajinya agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, Agustus 2016

Penyusun

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga naskah skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Naskah ini disusun sebagai hasil dari kajian literatur dan penelitian eksperimental yang dilakukan untuk syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Papa, Mama, Kakak tercantikku dan Adik tergantengku yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta do'a yang tiada henti untuk kesuksesan saya,
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, Dwi Prasetyo A.W., Mahening Desantoro N., dan Muhammad Faizal yang telah bekerja sama dan berjuang selama beberapa bulan terkahir,
6. Teman-teman HMJ, Punakawan, dan Balapati yang telah mendukung selama proses penelitian,
7. Defri, Farli, Desi, Alif, Dhana, Aziz, Danu, Rico, Filyan, Bayu, Ambar, Dede, Nanda, Ridho, Abdillah, Rony, Hadi, Singgih, Ricky, Hanif I., Yuri, Akbar, Dio, Iwan, Aрга, Adiz, dan Rahman yang telah membantu selama pengujian berlangsung,
8. Farli dan Sonnia yang telah meminjamkan kamera untuk dokumentasi penelitian,
9. Segenap Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya, yang telah memberikan semangat selama penelitian ini berlangsung
10. Teman-teman Departemen Amara dan Himpunan Mahasiswa Sipil, serta semua elemen yang telah membantu selama penelitian.

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

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.2 Semen	6
2.3 Air	7
2.4 Agregat	8
2.5 Beton Ringan	9
2.6 Batu <i>Pumice</i>	11
2.7 Beton Bertulang	12
2.8 Beton Serat	12
2.9 Bambu	13
2.9.1 Sifat Mekanik Bambu	13
2.9.2 Penelitian Mengenai Bambu	15
2.10 Lentur	16
2.11 Perhitungan Lendutan	17
2.12 Hipotesa	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	19
3.3 Analisa Bahan Yang Digunakan	20
3.3.1 Semen	20
3.3.2 Air	20
3.3.3 Agregat Halus	20
3.3.4 Agregat Kasar	20
3.3.5 Bambu Tulangan	21
3.3.6 Serat Bambu	21
3.4 Variabel Penelitian	21
3.5 Rancangan Penelitian	21
3.6 Prosedur Penelitian	24

3.6.1 Persiapan.....	24
3.6.2 Analisa Bahan Agregat Halus dan Kasar.....	24
3.6.3 Uji Tekan Beton Silinder	25
3.6.4 Pembuatan Balok	25
3.6.5 Pembuatan Benda Uji <i>Pull-Out</i>	26
3.7 Cara Penelitian dan Pengujian	26
3.8 Metode Pengumpulan Data.....	28
3.9 Analisa Data.....	28
3.9.1 Analisis Statistik	28
3.9.2 Analisis Lentur.....	33
3.10 Diagram Langkah-Langkah Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil Pengujian Beton	37
4.1.1 Pengujian Beton Segar.....	37
4.1.2 Pengujian Tegangan <i>Pull-Out</i>	38
4.1.3 Perencanaan Komposisi Beton	39
4.1.4 Pengujian Kuat Tekan Beton	41
4.2 Analisa Perhitungan Beban Maksimum	44
4.2.1 Pemodelan Struktur	44
4.2.2 Analisa Beban Maksimum Teoritis	45
4.2.3 Beban aksimum Balok Aktual	46
4.3 Berat Volume Balok	48
4.3.1 Berat Volume Teoritis	48
4.3.2 Berat Volume Balok Aktual	50
4.4 Analisa Perhitungan Lendutan.....	51
4.4.1 Lendutan Teoritis.....	51
4.4.2 Lendutan Aktual	53
4.5 Analisa Kekakuan Balok	54
4.6 Korelasi Pola Retak dengan Beban Maksimum	57
4.7 Analisa Statistika	60
4.7.1 Interaksi antara Serat Bambu dengan Komposisi Semen dan Agregat Kasar Batu Apung terhadap Kuat Lentur	60
4.7.2 Uji Regresi	64
BAB V PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Gradasi Agregat Halus atau Pasir	8
Tabel 2.2	Gradasi Agregat Kasar	9
Tabel 2.3	Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural.....	10
Tabel 2.4	Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-Rata untuk Beton Ringan Struktural (kg/cm^3)	10
Tabel 2.5	Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural.....	11
Tabel 2.6	Sifat Fisik Batu Pumice	11
Tabel 2.7	Hasil Uji Tarik Bambu Petung.....	15
Tabel 3.1	Tabel Rancangan Benda Uji	22
Tabel 3.2	Faktor Perlakuan Benda Uji.....	29
Tabel 3.3	Tabel Anova.....	32
Tabel 3.4	Form Data Pengujian Balok.....	33
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Slump.....	37
Tabel 4.2	Hasil Pengujian <i>Pull-Out</i>	39
Tabel 4.3	Berat Isi Material Beton Ringan	40
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A1B2C2.....	42
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A2B2C1.....	42
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A1B1C1.....	43
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A2B1C2.....	43
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan P Maksimum	47
Tabel 4.9	Hasil Perbandingan Beban Maksimum Eksperimen dan Aktual.....	48
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A1B2C2	51
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A2B2C1	51
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A2B1C2	51
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A1B1C1	51
Tabel 4.14	Hasil Perbandingan Berat Volume Eksperimental dan Teoritis	52
Tabel 4.15	Perbandingan Nilai Lendutan Aktual dan Teoritis	56
Tabel 4.16	Hasil Kelakuan Balok Secara Aktual dan Teoritis	62
Tabel 4.17	Perbandingan Pola Retak dan Beban Maksimum.....	64
Tabel 4.18	Hubungan Jumlah Pola Retak dengan Beban Maksimum Balok	66

Tabel 4.19	Rancangan Setengah Faktorial Beban Maksimum.....	68
Tabel 4.20	Hasil ANOVA	71



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Beton.....	5
Gambar 2.2	Perilaku Bambu yang Tidak Dilapisi Lapisan Kedap Air.....	14
Gambar 3.1	Potongan Melintang Benda Uji.....	23
Gambar 3.2	Potongan Memanjang Benda Uji.....	23
Gambar 3.3	Potongan Melintang Benda Uji <i>Pull-Out</i>	23
Gambar 3.4	Potongan Memanjang Benda Uji <i>Pull-Out</i>	24
Gambar 3.5	Skema Pengujian Balok Sederhana.....	27
Gambar 3.6	Rancangan Faktorial Sebagian.....	30
Gambar 3.7	Grafik Hubungan antara Lendutan dan Beban.....	33
Gambar 3.8	Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 4.1	Pengujian <i>Slump</i>	38
Gambar 4.2	Setting Pengujian <i>Pull-Out</i>	38
Gambar 4.3	Grafik Kuat Tekan Aktual.....	44
Gambar 4.4	Pemodelan Struktur.....	45
Gambar 4.5	Analisis Balok Bertulang Tunggal.....	46
Gambar 4.6	Setting Pengujian Balok.....	48
Gambar 4.7	Grafik Beban Maksimum Aktual.....	49
Gambar 4.8	<i>Conjugate Beam</i>	54
Gambar 4.9	Grafik Lendutan Aktual.....	57
Gambar 4.10	Grafik antara Lendutan dengan Beban.....	59
Gambar 4.11	Grafik antara Lendutan dengan Beban Saat Beban 200 kg.....	61
Gambar 4.12	Grafik Kekakuan Aktual.....	63
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Jumlah Pola Retak dengan Beban Maksimum.....	66
Gambar 4.14	Hubungan Regresi untuk Interaksi A1B2 dan A2B1.....	72
Gambar 4.15	Hubungan Regresi untuk Interaksi A1B1 dan A2B2.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Perhitungan Kapasitas Balok	71
Lampiran 2	Hasil Pengujian Balok.....	75
Lampiran 3	Hasil Pengujian Balok <i>Pull-Out</i>	102
Lampiran 4	Perhitungan Lendutan Balok.....	122
Lampiran 5	Mix Design Balok Kontrol Beton Normal.....	131
Lampiran 6	Hasil Uji Kuat Tekan	137
Lampiran 7	Hasil Berat Volume.....	138
Lampiran 8	Gambar Persiapan Bahan	139
Lampiran 9	Gambar Hasil Pengujian Balok.....	142
Lampiran 10	Gambar Hasil Pengujian <i>Pull-Out</i>	147



RINGKASAN

Muhammad Hamzah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2016, *Interaksi Antara Serat Bambu dengan Komposisi Semen dan Agregat Kasar Batu Apung terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Bambu*, Dosen Pembimbing: Sri Murni Dewi dan Ming Narto Wijaya.

Berkembang pesatnya pengetahuan teknologi saat ini, menjadikan setiap orang berlomba-lomba untuk melakukan inovasi baru terutama di bidang konstruksi. Salah satunya adalah beton serat. Dinamakan beton serat, karena beton tersebut diberikan material tambahan yaitu serat bambu. Pemberian serat bambu diharapkan menambah kuat tarik dan kuat tekan pada beton. Selain itu, penggunaan baja tulangan yang terus menerus dalam pembangunan infrastruktur membuat sumber daya alamnya makin berkurang. Oleh karena itu, dipergunakan alternatif lainnya yaitu tulangan bambu, dimana tulangan ini mampu menambah kuat tarik pada beton. Sehingga, dari campuran material tersebut dan penggunaan batu apung sebagai agregat kasar, diharapkan beton ini menjadi beton ringan dengan tujuan dapat mengurangi beban mati pada berat total struktur.

Dalam penelitian ini, balok yang berukuran 160 x 15 x 20 cm dibuat dengan menggunakan rancangan setengah faktorial agar didapatkan hasil penelitian yang diinginkan dengan jumlah benda uji yang lebih sedikit. Variasi pengaruh dalam percobaan ini 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). Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing benda uji dengan harapan dapat dibandingkan dengan hasil benda uji lainnya. Setelah pembuatan balok, dibuat juga benda uji *pull-out* dengan tujuan untuk mengetahui nilai tegangan lekat pada tulangan bambu dan beton pada setiap komposisi balok dengan rasio tulangan 1%. Dan juga dibuat 2 benda uji kontrol untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari komposisi balok tersebut. Dalam proses pengujian, balok yang sudah berumur 28 hari dan melewati masa *curing*, diletakkan pada *loading frame* dengan 2 tumpuan sederhana di bawahnya. Beban terpusat dibagi menjadi 2 titik agar diperoleh hasil uji lentur murni. Sedangkan LVDT ditaruh di ujung tepi balok pada bagian atas. Sehingga pada pembacaan data didapatkan nilai lendutan dan beban.

Hasil dari penelitian ini adalah pada komposisi A1B2C1, A2B2C1, A2B1C1 dan A1B1C1 didapatkan tegangan lekat sebesar 0,173 Mpa, 0,117 Mpa, 0,150 Mpa, dan 0,185 Mpa. Sedangkan pada komposisi A1B2C2, A2B2C1, A2B1C2 dan A1B1C1 diperoleh mutu beton sebesar 16,08 Mpa, 19,29 Mpa, 20,9 Mpa, dan 20,39 Mpa. Sehingga dari hasil tersebut, pengaruh kadar serat dan komposisi semen dan agregat terlihat jelas. Pada hasil beban maksimum diperoleh sebesar 2200 kg, 1900 kg, 1716,67 kg, dan 1950 kg. Namun pada benda uji kontrol tanpa serat (A0B2C1) dan benda uji kontrol beton normal dihasilkan beban maksimum sebesar 950 kg dan 2850 kg. Nilai lendutan sebesar 0,27 mm, 0,32 mm, 0,26 mm dan 0,44 mm ini diambil ketika balok masih dalam keadaan elastis. 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. Namun, jika dilihat dari pola retaknya, beban maksimum yang besar akan menghasilkan jumlah pola retak yang banyak. Akan tetapi, jika dilihat dari analisa statistik baik pada uji anova maupun regresi, interaksi yang terjadi antara pengaruh serat bambu dengan komposisi semen dan agregat itu ada, walaupun belum terlihat signifikan.

Kata kunci : serat bambu, komposisi, kuat lentur, balok, tulangan bambu

SUMMARY

Muhammad Hamzah, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, August 2016, *Interaction Between Bamboo Fiber and Composition of Cement Pumice Stone Aggregate to the Flexural Strength of Bamboo Reinforced Concrete Beam*, Academic Supervisor : Sri Murni Dewi and Ming Narto Wijaya.

The rapid growth of the knowledge of the current technology, which makes everyone vying to innovate, especially in the field of construction. One of them is of concrete reinforced by fibers. Named in concrete reinforced by fibers, because the concrete is given the additional material is of the bamboo fiber. bamboo fiber supply should add tensile strength and compressive strength of the concrete. In addition, the use of continuous reinforcing steel in the construction of infrastructure to make natural resources diminish. Therefore, other alternatives are used bamboo reinforcement, wherein the reinforcement is able to increase the tensile strength of the concrete. Thus, from a mixture of these materials and use pumice stone as coarse aggregate, concrete should be it a lightweight concrete in order to reduce the dead weight on the total weight of the structure.

In this study, the measurement beam 160 x 15 x 20 cm made using the half-factorial design to achieve the desired results by the number under test parts. Variations influence in this experiment is the bamboo fiber content of 40 g / volume of the test sample and 150 g samples / volume (A1 and A2), the ratio of cement and aggregate 1 : 2: 1 and 1: 2.5: 1.5 (B1 and B2) and the bamboo frame rate of 1% and 1.5% (C1 and C2). Repetition is 3 times on each sample in the hope can be compared with the results of other test objects. After a beam, also made the pull test to determine the voltage value attached to bamboo and the reinforcement of each composition with a 1% reinforcing beams report. And also two control samples to determine the amount of influence on the block composition. In the testing process, the beams were aged 28 days and through a curing period, placed on the loading frame with two simple supported below. concentrated load is divided into two points to get the results of pure bending tests. Whereas LVDT placed at the ends of the beams at the top edge. So that the reading of data obtained deflection values and load.

The results of this study is the A1B2C1 composition A2B2C1, A2B1C1 A1B1C1 and obtained the adhesion tension of 0.173 MPa, 0.117 MPa, 0.150 MPa and 0.185 MPa. While A1B2C2 composition A2B2C1, A2B1C2 and A1B1C1 obtained concrete quality of 16.08 MPa, 19.29 MPa, 20.9 MPa and 20.39 MPa. Thus, from these results, the effect of the fiber and the cement composition and aggregate clearly visible. In the results for the maximum load 2200 kg, 1900 kg, 1950 kg and 1716.67 kg. However, the control samples without fibers (A0B2C1) and normal control samples of concrete produced a maximum load of 950 kg and 2850 kg. deflection value of 0.27 mm, 0.32 mm, 0.26 mm and 0.44 mm was taken when the beam is always in a state of elastic. And the value of the stiffness of each composition to the elastic condition was 793.87 kg / mm, 661.61 kg / mm, 783.87 kg / mm and 487.33 kg / mm. However, when seen from the breakdown of the model, the maximum load will produce a large amount of crack patterns much. However, when viewed either ANOVA statistical analysis and regression test, the interactions that occur between the effects of bamboo fiber in the cement composition and aggregate there, but not significantly.

Keywords: bamboo fiber, composition, flexural strength, beams, bamboo reinforcement

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi modern saat ini telah mengalami perkembangan yang pesat, terutama pada bidang konstruksi. Dimana hal tersebut juga saling bersinambung dengan material konstruksi, yang mana semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi maka kebutuhannya pun juga akan meningkat. Mengingat negara Indonesia merupakan negara berkembang maka diperlukan pengembangan teknologi bahan konstruksi agar didapatkan nilai yang lebih ekonomis.

Salah satu pengembangan teknologi yang saat ini sangat populer pada bahan konstruksi adalah beton. Beton sendiri terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air yang dicampur hingga bahan menjadi padat. Mudahnya pembentukan beton dari pembuatannya, menjadikan hal tersebut termasuk dalam salah satu keunggulan penggunaan beton dalam bidang konstruksi, selain kuat menahan tekan. Namun, beton juga memiliki kekurangan, diantaranya adalah berat sendirinya yang besar. Hal ini dikarenakan kandungan agregat yang mencapai kadar 70% hingga 75% dari volume total beton.

Tingginya kadar agregat pada volume beton, maka diperlukan jenis agregat lain untuk mengganti agregat yang ada. Penggantian agregat tersebut, mampu merubah berat beton menjadi beton yang lebih ringan. Kondisi beton dengan jenis agregat ini umumnya disebut dengan beton ringan. Beton ringan merupakan beton yang memiliki berat isi kering maksimum sebesar 1900 kg/m^3 , dan diperoleh dengan menggantikan agregat normal dengan agregat ringan yang kapasitas berat isi kering gemburnya maksimum 1100 kg/m^3 . Agregat ringan ini dapat berasal dari produk industri, alami dan buatan. Perubahan penggunaan batu pecah dengan agregat kasar ringan diharapkan mampu dipakai sebagai agregat ringan dalam campuran beton ringan. Salah satu contoh agregat ringan adalah batu apung (*batu pumice*).

Batu apung adalah batuan asam yang berasal dari lava akibat letusan gunung berapi yang kemudian mengalami pendinginan. Salah satu sifat fisik dari jenis material batu apung ialah berat jenis sebesar 393 kg/m^3 dan modulus kehalusan yang mencapai 9,18,

menjadikan alasan penggunaan batu apung sebagai agregat ringan. Batu apung (*pumice stone*) sendiri dalam hal ini mempunyai beberapa keunggulan yang menjadikannya sebagai material yang cocok dalam bidang konstruksi, beberapa keuntungan tersebut adalah lebih ramah lingkungan (tidak menghasilkan polusi udara berupa gas CO₂ sehingga tidak menyebabkan *global warming*) karena dapat dimanfaatkan tanpa melalui proses pembakaran yang mana tidak seperti agregat ringan lainnya yang membutuhkan proses pembakaran. Kemudian nilainya yang lebih murah karena sumber dari batu apung sendiri tersebar merata di Indonesia.

Karena kandungan berat dari agregat mencapai $\frac{3}{4}$ dari berat isi total beton, maka sifat-sifat fisik dan mekanik dari agregat ini mempunyai pengaruh terhadap sifat-sifat fisik dan mekanik dari beton. Agar sifat-sifat beton yang didapatkan seperti pada umumnya, maka salah satu cara yang dilakukan adalah dengan merubah variasi komposisi agregat dalam suatu campuran beton. Sehingga diperoleh sifat-sifat fisik dan mekanik yang sama dengan beton yang akan dibuat.

Selain penggunaan batu apung dalam beton ringan, perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi yang akhir-akhir ini sering dilakukan adalah penambahan material lain pada campuran agregat beton. Salah satu penambahan yang dimaksud ialah serat bambu. Kandungan serat bambu pada beton menjadikan beton yang biasanya hanya beton biasa, menjadi beton berserat. Pemberian serat bambu pada campuran beton, akan memberikan tambahan kuat tekan. Seberapa besar kuat tekan yang diperoleh menjadi alasan penggunaan serat bambu itu sendiri. Selain itu, kombinasi yang akan diberikan pada beton ringan dengan campuran-campuran diatas adalah tulangan bambu. Tulangan bambu diharapkan menjadi tulangan yang sama kuatnya dengan tulangan baja. Banyaknya penelitian terhadap bambu untuk bahan konstruksi, menjadikan tulangan bambu sebagai alasan penggunaan yang cocok untuk memperkuat kuat tarik dari balok yang akan dibuat.

Dalam dunia ketekniksipilan, balok, plat, kolom dan pondasi salah satu bagian-bagian terpenting dalam suatu konstruksi. Dan balok adalah salah satu komponen penting karena menyalurkan beban dari kolom. Adanya pengaruh lentur dan geser pada balok akan mempengaruhi sistem portal.

Dengan adanya penambahan serat bambu dan batu apung sebagai agregat kasar, maka beton ringan yang dibuat akan memberikan perilaku yang berbeda. Hal inilah yang akan menjadi penelitian untuk mengetahui seberapa besar kuat lentur dan berat volume dari balok beton ringan bertulang bambu tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian yang telah disampaikan di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu :

- a.) Bagaimana interaksi antara serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat terhadap kuat tarik dan kuat tekan balok beton bertulang bambu?
- b.) Bagaimana interaksi yang terjadi antara serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat terhadap kuat lentur balok beton bertulang bambu?
- c.) Bagaimana interaksi yang terjadi antara serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat terhadap lendutan balok beton bertulang bambu?
- d.) Bagaimana interaksi yang terjadi antara serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat terhadap kekakuan balok beton bertulang bambu?
- e.) Bagaimana hasil analisa statistik dari interaksi antara serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat?

1.3 Batasan Masalah

Di bawah ini diberikan beberapa batasan masalah atau ruang lingkup pembahasan dalam penyelesaian penelitian ini, antara lain :

- a. Serat bambu yang digunakan berasal dari pabrik tusuk sate daerah Cemara Kandang, Kota Malang.
- b. Semen yang digunakan adalah jenis PPC.
- c. Pasir yang digunakan berasal dari daerah Lumajang yang terdapat di pasaran.
- d. Agregat kasar menggunakan batu apung (*pumice stone*) yang berasal dari Lombok.
- e. Bambu yang digunakan adalah jenis bambu Ori.
- f. Pada bambu dan serat, tidak dilakukan pengujian khusus dan kualitas dianggap sama.
- g. Serat yang digunakan memiliki panjang yang bervariasi dengan panjang maksimum 4 cm, lebar 0,5 – 1 mm, dan tebal 5 mm.
- h. Serat dianggap tersebar secara acak di dalam campuran beton.
- i. Benda uji berupa balok yang memiliki ukuran 160x15x20 cm.
- j. Variasi penambahan serat bambu sebesar 150 g/volume benda uji dan 40 g/volume benda uji.
- k. Beton menggunakan campuran semen : pasir : batu *pumice* dengan komposisi 1 : 2 : 1 dan 1 : 2,5 : 1,5

- l. Menggunakan tulangan bambu dan sengkang dengan ukuran yang sudah ditentukan.
- m. Hanya dilakukan pengujian kuat lentur pada balok saat beton berumur 28 hari atau lebih.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui interaksi kuat tarik dan kuat tekan dari balok beton bertulang bambu akibat variasi pemberian serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat yang berbeda.
2. Untuk mengetahui interaksi kuat lentur dari balok beton bertulang bambu akibat variasi pemberian serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat yang berbeda.
3. Untuk mengetahui interaksi lendutan akibat variasi pemberian serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat yang berbeda dari balok beton bertulang bambu.
4. Untuk mengetahui interaksi kuat lentur pada balok beton bertulang bambu akibat variasi pemberian serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat yang berbeda.
5. Untuk mengetahui hasil analisa statistik interaksi dari variasi pemberian serat bambu dengan variasi komposisi semen dan agregat yang berbeda.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari adanya penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku dari balok beton bertulang bambu akibat dari pengaruh pemberian serat bambu dan komposisi dari batu apung (*pumice stone*) itu sendiri. Namun tidak hanya itu saja, hasil dari penelitian ini diharapkan mampu diterapkan dalam pembangunan konstruksi dan sebagai studi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

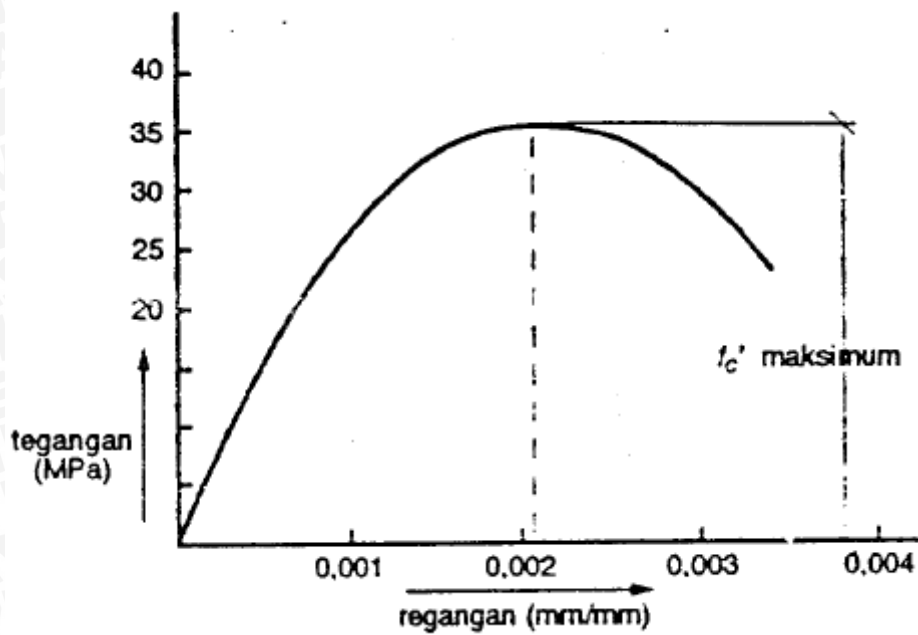
2.1 Beton

Beton adalah material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar, agregat halus, dan tambahan lainnya apabila perlu dan akhirnya membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002). Dalam perkembangan teknologi beton, banyak cara untuk mendapatkan kekuatan beton dengan mutu tinggi tetapi berat yang ringan yang bertujuan untuk mengurangi beban ke permukaan tanah. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk

Beton dapat diklasifikasikan dengan berdasarkan beberapa cara. Beton diklasifikasikan berdasarkan volumenya menurut SNI 03-2847-2002 yaitu:

1. Beton normal : beton yang mempunyai berat satuan $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
2. Beton ringan : beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3 .
3. Beton berat : beton yang mempunyai berat satuan lebih dari 2500 kg/m^3 .

Beton sendiri memiliki kemampuan untuk menerima gaya tekan namun lemah terhadap gaya tarik sehingga mempunyai kuat tarik yang rendah. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya. Oleh sebab itu, beton perlu diperkuat dengan menggunakan tulangan baja sebagai bahan yang dapat membantu kelemahannya untuk memperkuat dan menahan tarik, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik (Dipohusodo, 1993). Pada Gambar 2.1 memperlihatkan bagaimana hubungan tegangan-regangan beton



Gambar 2.1
Grafik hubungan

tegangan-regangan beton

Sumber: Struktur Beton Bertulang (1993)

Kuat tekan beton dituliskan tegangan maksimum f'_c dengan satuan MPa. Biasanya beton bertulang menggunakan kuat tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan beton prategang berkisar antara 30-45 MPa. Kuat tekan beton dicapai pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Nilai f'_c timbul pada saat benda uji mencapai tegangan maksimum pada saat regangan beton mencapai nilai kurang lebih 0,002.

2.2 Semen

Semen adalah bahan perekat hidrolis-anorganik berbentuk powder halus yang mempunyai sifat pengikatan kimia (adhesif dan kohesif) dan dapat membentuk senyawa baru (pasta hingga padatan), bila direaksikan dengan air dalam waktu tertentu. Semen yang sering dipakai dan sering digunakan dalam dunia konstruksi biasanya adalah semen portland. Semen portland sendiri adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan clinker yang mengandung senyawa calcium, aluminat, silikat, dan ferrite dan dengan bahan tambahan yang biasa digunakan yaitu gypsum dan bahan lainnya sebagai aditif. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO₂) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃ dan Al₂O₃) sekitar 7%-12%.

Senyawa –senyawa yang menyebabkan terjadinya proses pengikatan dalam pengerasan semen antar lain (Cahya,1984):

1. Trikalsium Aluminat (C_3A)
2. Trikalsium Silikat (C_3S)
3. Dikalsium Silikat (C_2S)
4. Tetrakalsium Alaminoferrite (C_4AF)

Ada beberapa klasifikasi jenis atau tipe semen yang digunakan untuk kontruksi beton (ASTM-C150) yaitu:

1. Tipe I : Merupakan jenis semen yang paling banyak digunakan dan umum dicari di pasaran, tidak terdapat spesifikasi yang khusus.
2. Tipe II : Merupakan semen yang tahan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang biasanya digunakan untuk bangunan dipinggir laut, saluran irigasi dan banunan bekas tanah rawa.
3. Tipe III : Semen yang dikembangkan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi dengan proses pengecoran yang cepat, contohnya seperti jalan raya bebas hambatan, bangunan –bangunan tingkat tinggi.
4. Tipe IV : Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitas besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan dalam proses curing merupakan faktor kritis.
5. Tipe V: Semen jenis ini digunakan untuk bangunan-bangunan tanah/air yang mengandung sulfat tinggi dan biasanya untuk kontruksi dalam air, jembatan, terowongan.

2.3 Air

Dalam bidang kontruksi air merupakan bahan dasar yang sangat penting dalam pembuatan struktur beton. Pada dasarnya air diperlukan agar terjadi reaksi kimia dengan semen sehingga dapat menjadi bahan perekat antara agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) serta bahan campuran beton lainnya. Apabila dalam campuran beton komposisi air berlebih maka akan menimbulkan gelembung air, sedangkan bila kekurangan air mengakibatkan proses hidrasi tidak sepenuhnya selesai (Nawi, 1998).

Menurut SNI 03-2847-2002 air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Air untuk pembuatan campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan perusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, ataupun bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

2. Air yang digunakan untuk campuran beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Apabila air tidak dapat diminum maka pemilihan proposi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama

Air yang digunakan sebaiknya air tawar bukan air laut/air asin, karena air asin sendiri mempunyai kadar garam yang tinggi dan dapat membuat tulangan pada beton bertulang berkarat.

2.4 Agregat

Agregat adalah butiran batu pecah, kerikil, dan pasir atau mineral lainnya baik berasal dari alam maupun buatan (SNI No 1737-1989-F). Agregat sendiri dibagi atas agregat halus yang mempunyai massa 1100kg/m^3 atau kurang. Agregat halus sendiri biasanya berasal dari pasir alam atau pasir yang dihasilkan oleh pecahan batu dan mempunyai ukuran 5mm.

Syarat agregat halus yang baik:

1. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5 % terhadap berat kering
2. Modulus kehalusan 2,3-3,1 (ASTM C33)
3. Gradasi agregat:
 - a. Sisa diatas ayakan 0,25 mm, harus berisar antara 80-95% berat
 - b. Sisa diatas ayakan 4 mm ,harus minimum 2 % berat
 - c. Sisa diatas ayakan 1 mm ,harus minimum 10% berat

Tabel 2.1. *Gradasi Agregat Halus atau Pasir*

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: ASTM C33 (2002)

Keterangan :

Gradasi zona I : pasir kasar

Gradasi zona IV : pasir agak halus

Gradasi zona II : pasir agak kasar

Gradasi zona III : pasir halus

Agregat kasar berupa hasil alam dalam bentuk batuan yang butir-butir kerasnya tidak memiliki pori lalu tidak mengandung lumpur lebih dari 1%. Pemilihan agregat tergantung dari syarat-syarat yang ditentukan beton.

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam pemilihan agregat kasar yang baik adalah:

1. Modulus kehalusan = 7,49 - 9,55 (ASTM C 33)
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 1% terhadap berat kering
3. Gradasi agregat:
 - a. Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat
 - b. Sisa diatas ayakan 31,5 mm ,harus minimum 0% berat
 - c. Sisa diatas ayakan 4 mm ,harus minimum 2% berat

Tabel 2.2. *Gradasi Agregat Kasar*

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Aayakan		
	Besar Butir Maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	45-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: ASTM C33 (2002)

2.5 Beton Ringan

Perkembangan teknologi beton pada masa ini terus berkembang dengan adanya inovasi beton ringan. Beton ringan adalah beton yang memiliki massa jenis (density) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Bahan utama dari pembuatan beton ringan adalah pasir silika, semen, air, kapur, dan ditambah dengan bahan-bahan tambahan pengembang yang kemudian dirawat di tempat yang memiliki tekanan uap air. Beton ringan mempunyai massa jenis antara 600-1850 kg/m³.

Jenis-jenis agregat pada beton ringan bermacam-macam seperti agregat ringan yang berasal dari alam biasanya berasal dari pegunungan sisa-sisa dari batuan vulkanik. Ada persyaratan yang harus dipenuhi agar menjadi beton ringan struktural, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3, Tabel 2.4 dan Tabel 2.5

Tabel 2.3. *Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*

No	Sifat fisis	Persyaratan
1	Berat Jenis	1,0-1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum:	
	- gembur kering (kg/cm)	1120
	- agregat halus	880
	- agregat kasar	1040
	- campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9-14
5	Nilai 10% kehalusan (ton)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16-18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

CATATAN :

Nilai keremukan ditentukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayakan 2,4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100 %

Sumber: SNI 03-2461-2008 (2008)

Tabel 2.4. *Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-Rata untuk Beton Ringan Struktural (kg/cm³)*

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	17
Agregat ringan dan pasir		
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2	17

CATATAN 1 Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata tiga buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari enam benda uji,

CATATAN 2 Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat 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 41 MPa $\approx$ 10 kg/cm²

Sumber: SNI 03-2461-2008 (2008)

Tabel 2.5. *Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural*

Ukuran	Prosentase yang lulus angka (% berat)								
	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3
Agregat halus: (4,75 - 0) mm	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar: (25,0 - 4,75) mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0 - 4,75) mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5 - 4,75) mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5-2,36) mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi agregat halus dan kasar: (12,5 - 8,0) mm	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9,5 - 8,0) mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

Sumber: SNI 03-2461-2008 (2008)

2.6 Batu Pumice

Batu pumice adalah jenis batuan yang berwarna terang yang biasanya disebut batuan gelas vulkanik silikat, batu pumice sendiri memiliki massa jenis berkisar antara 500-900 kg/m³. Jenis batuan ini dapat digunakan untuk membuat beton ringan dengan berat jenis 700 hingga 1400 kg/m³, tetapi memiliki daya serap air yang sangat besar.

Batu pumice sendiri mempunyai pori sehingga tingkat absorpsi pada batu pumice umumnya tinggi tergantung porositas dan ukurannya. Karena densitas rendah dan kekuatan yang relatif, batu pumice sendiri sering digunakan dalam pembuatan beton ringan struktural, sifat fisik batu pumice ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. *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)

2.7 Beton Bertulang

Sifat beton yang lemah akan tarik mengakibatkan beton memerlukan komponen tambahan seperti penambahan tulangan baja yang kuat akan tarik sehingga dapat kita sebut beton bertulang, beton bertulang sendiri mempunyai arti yaitu struktur yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya (SNI 03-2847-2002 pasal 3.13).

Kelebihan yang dapat kita peroleh dari penggunaan beton bertulang yaitu :

1. Memiliki kuat tekan yang relatif tinggi
2. Beton bertulang tahan terhadap air dan api
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh

Kekurangan yang dapat diperoleh dari penggunaan beton bertulang yaitu :

1. Beton mempunyai kuat tarik yang lemah oleh sebab itu memerlukan penggunaan tulangan tarik
2. Waktu pengerjaan beton bertulang lebih lama
3. Kualitas beton bervariasi

Ada beberapa kondisi dalam yang perlu diperhatikan dalam perencanaan beton bertulang yaitu kondisi balance atau seimbang yaitu kondisi dimana ketika beban maksimum terjadi maka tulangan dan beton tuntas bersama-sama. Lalu kondisi over reinforce yaitu kondisi dimana terjadi beban maksimum dan beton akan terjadi runtuh duluan baru tulangan. Lalu yang terakhir adalah kondisi under reinforce, dimana terjadi beban maksimum dan tulangan baja runtuh terlebih dahulu baru kemudian diikuti oleh betonnya. Kondisi yang biasanya menjadi acuan yaitu under reinforce, dikarenakan apabila terjadi beban maksimum struktur beton akan mengalami goncangan terlebih dahulu, sehingga ketika terjadi bencana orang-orang bisa menyelamatkan diri sebelum beton runtuh.

2.8 Beton serat

Beton serat adalah beton yang diberikan serat baik itu alami maupun buatan. Penambahan serat bertujuan menambah kuat tarik dari beton tersebut dan memperlambat pertumbuhan crack. Kuat tarik pada beton serat dipengaruhi oleh bentuk serat dan komposisi yang digunakan. Serat yang baik untuk menambah kuat tarik yaitu serat yang mempunyai bengkokan yang bertujuan mempengaruhi lentur dan tekan pada beton .

Pada zaman dahulu di eropa, banyak menggunakan beton serat alami sebagai bahan tambahan pembuatan beton. Serat yang digunakan yaitu serat jerami atau bulu kuda, dengan

berkembangannya teknologi penggunaan serat sebagai campuran beton antara lain yaitu bambu dan kayu. Menurut Palungkun (1992), mutu serat ditentukan oleh warna, prosentase, kotoran, kadar air, dan proporsi berat antara serat panjang dan serat pendek .

Hasil-hasil penelitian dahulu tentang penambahan serat alami pada beton menyatakan bahwa serat bambu dapat memperkuat beton dan mempunyai kuat tarik 4 kali lipat baja lunak (profile balitbang propinsi jawa tengah ,2006, www.balitbangjateng.go.id/read.php).

2.9 Bambu

Pada tahun 1980-an, kontruksi bambu mengalami perkembangan yang luar biasa namun ada beberapa kendala yang membuat bambu ini belum bisa dipakai sebagai bahan kontruksi. Di Indonesia sendiri masih langka dan tidak lengkap tentang studi mengenai kekuatan bambu dan perlu ada studi kelayakan mengenai kekuatan bambu. Bambu sendiri mempunyai 1250 spesies di 75 negara di dunia dan di wilayah Indonesia sendiri, tanaman bambu sangat melimpah.

Bambu sangat mudah ditanam dan tidak memerlukan pemeliharaan. Bambu sendiri mempunyai ketahanan terhadap cuaca dan mempunyai kekuatan yang cukup tinggi yang kuat tariknya bisa sejajar dengan kuat tarik baja. Bambu cukup baik dalam memikul momen lentur dengan ditambah sifat bambu yang elastis struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi baik terhadap gempa maupun angin. Namun pada dasarnya bambu berbeda dengan baja, bambu mempunyai sifat tidak awet dan memiliki jangka waktu terbatas.

Batang bambu umumnya berbentuk tabung atau silinder dengan diameter 1 cm sampai 25 cm sehingga membuat momen inersia batangnya besar tetapi ringan. Batang bambu tersebut tersusun secara terpisah-pisah oleh nodia atau ruas yaitu diafragma yang arahnya transversal. Dengan adanya nodia-nodia tersebut, maka bahaya tekuk lokal akan menjadi berkurang (Ghavami, 2004).

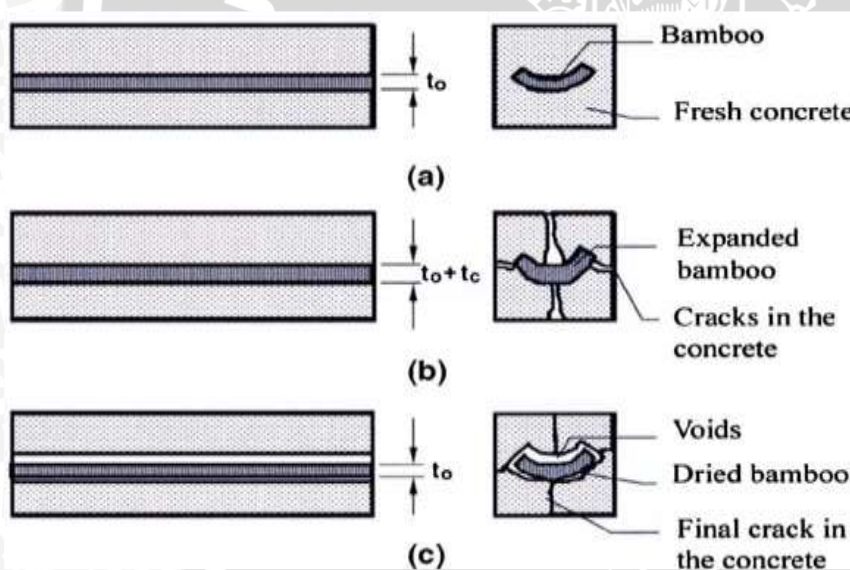
Bambu mengandung banyak serat dan pembuluh yang arahnya sejajar mengikuti arah memanjang bambu, sehingga kekuatan tarik dan kekuatan tekan bambu searah sejajar serat cukup tinggi. Serat-serat tersebut terarah sepanjang sumbu batang bambu dengan diameter 0,7 mm hingga 0,8 mm, tergantung pada spesies dan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

2.9.1 Sifat Mekanik Bambu

Bambu merupakan salah satu bahan yang memiliki sifat higroskopis yang artinya memiliki sifat afinitas terhadap air baik dalam bentuk uap maupun cair. Sehingga

kemampuan bambu dalam mengembang dan menyusut tinggi. Penyusutan yang terjadi pada bambu secara lanjut akan mempengaruhi lekatan antara bambu dengan beton. Oleh karena itu diperlukan perlakuan khusus terhadap bambu yaitu dengan cara memberikan lapisan kedap air.

Ketika bambu digunakan sebagai tulangan, bambu akan memiliki perilaku yang berbeda pada saat proses pengerasan pada beton apabila tidak dilapisi dengan lapisan kedap air. Pada saat mortar masih dalam keadaan basah tulangan bambu akan mengembang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 a. Hal ini dikarenakan tulangan bambu yang tidak dilapisi oleh lapisan kedap air akan menyerap air pada mortar yang masih segar. Pada saat bambu menyerap air dari mortar bambu akan mengembang sehingga menimbulkan retakan pada mortar setelah mengering seperti pada Gambar 2.2 b. Pada waktu yang lama mortar akan mengering dan retakan yang timbul akan semakin membesar, bambu akan mengalami pengerutan dan pembusukan akibat adanya kontak dengan udara luar seperti pada Gambar 2.2 c.



Gambar 2.2 Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air (a) bambu dalam beton segar (b) bambu menyerap air dan mengembang pada masa perawatan mortar (c) bambu mengerut setelah masa perawatan beton

Sumber : Khosrow Ghavami (2004)

Berdasarkan hasil penelitian para ahli, bambu memiliki tegangan tarik yang cukup besar terutama pada bagian kulitnya. Menurut Nindyawati (2014) bambu petung memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 180000 kg/cm^2 . Berikut ini adalah kuat tarik bambu berdasarkan penelitian disertasi oleh Nindyawati (2014) disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2.7. Hasil Uji Tarik Bambu Petung

P	Dimensi Bambu	A	P/A
(N)	(cm x cm)	(mm ²)	(N/mm ²)
19800	1 x 1.1	10	180
17400	0.9 x 1.1	99	175
19000	1.2 x 0.9	108	175
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)

2.9.2 Penelitian Mengenai Bambu

Bambu memiliki kekuatan yang cocok sebagai bahan pengganti tulangan baja pada beton bertulang, hal ini telah dibuktikan dalam berbagai macam penelitian ilmiah maupun empiris, antara lain:

1. Morisco (1999) melakukan penelitian dan mendapatkan kesimpulan bahwa bambu dapat digunakan sebagai pengganti tulangan baja dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi mendekati kekuatan baja struktur.
2. Janssen (2000) melakukan penelitian perbandingan penggunaan bambu dan baja sebagai tulangan di dalam balok beton. Hasil yang didapat menyatakan bahwa momen lentur pada balok beton bertulang bambu adalah 78% jika dibandingkan dengan balok dengan tulangan baja. Pada dua dekade sebelumnya Janssen melakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan bambu terhadap tarik, tekan, lentur dan geser dengan pembebanan jangka panjang dan jangka pendek. Dalam penelitian ini dipakai bambu dengan spesies *Bambusa blumeana* (bambu ori) berumur 3 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan bambu sangat dipengaruhi oleh kelembaban bahan. Kekuatan lentur rata - rata adalah sebesar 84 MPa, modulus elastisitas sebesar 20.000 MPa. Kekuatan geser rata-rata cukup rendah yaitu 2,25 MPa pada pembebanan jangka pendek dan 1 MPa pada pembebanan jangka panjang (6 – 12 bulan). Pada penelitian ini juga diperoleh kekuatan tarik sejajar serat cukup tinggi, yaitu 200 – 300 MPa.

3. Patturrahman dan kusuma (2003) melakukan penelitian dengan kesimpulan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana.
4. Khosrow Gavami (2004) menyatakan bahwa tulangan bambu dapat menggantikan tulangan baja secara memuaskan dan telah diaplikasikan di dalam beberapa konstruksi bangunan.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian tegangan *pull-out*, yang bertujuan untuk mengetahui tegangan lekatan antara tulangan bambu dengan beton. Tegangan *pull-out* sendiri dapat dihitung dengan rumus:

$$f_y = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

Dimana f_y = kuat lekat bambu (N/mm²)

P = gaya *pull-out* (N)

A = luas selimut tulangan bambu yang dicor (mm²)

Ketika bambu digunakan sebagai tulangan, bambu akan memiliki perilaku yang berbeda pada saat proses pengerasan pada beton apabila tidak dilapisi dengan lapisan kedap air. Pada saat mortar masih dalam keadaan basah, tulangan bambu akan mengembang. Hal ini dikarenakan tulangan bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air akan menyerap air pada mortar yang masih segar. Pada saat bambu menyerap air dari mortar, bambu akan mengembang sehingga menimbulkan retakan pada mortar setelah mengering. Pada waktu yang lama, mortar akan mengering dan retakan akan semakin membesar sehingga bambu akan mengalami penyusutan dan pembusukan akibat adanya kontak dengan udara luar.

2.10 Lentur

Kuat lentur merupakan kemampuan bahan untuk menahan beban lentur. Ketika suatu bahan dilakukan pemeriksaan lentur, maka akan diketahui apakah penampang memiliki kekuatan yang cukup atau tidak dalam memikul beban kerja (momen kerja). Dalam menganalisis suatu balok, perbedaan antara lentur murni dan lentur tak seragam sering kali dibutuhkan. Lentur murni mengandung arti lentur pada suatu balok akibat momen lentur konstan dimana gaya gesernya adalah nol. Sedangkan lentur tak seragam mengandung arti lentur yang memiliki gaya geser, yang berarti bahwa momen lentur berubah pada saat kita menyusuri sepanjang sumbu balok.

2.11 Perhitungan Lendutan

Lendutan batang struktural merupakan suatu fungsi dari panjang bentang, perletakan atau kondisi ujung-ujungnya (contohnya jenis tumpuan atau adanya tahanan karena hubungan batang-batang), jenis beban (beban terpusat atau beban merata), dan kekuatan lentur (EI) dari suatu elemen. Lendutan maksimum pada balok elastis dapat diperoleh dengan cara prinsip dasar mekanika seperti persamaan dibawah ini:

$$\Delta_{max} = K \frac{W.l_n^3}{48EIc} \quad (2-2)$$

Dimana K = suatu faktor yang bergantung pada derajat kekakuan tumpuan

W = beban total bentang (N)

l_n = panjang bentang bersih (mm)

E = modulus elastisitas

I_c = momen inersia penampang (mm⁴)

Harga lendutan elastis maksimum pada setiap bentuk sistem struktur berbeda, bergantung pada kondisi tumpuan dan jenis pembebanannya. Di bawah ini adalah persamaan lendutan maksimum untuk tumpuan sendi-rol dengan beban terpusat di tengah:

$$\Delta_{max} = \frac{P.l^3}{48.EI} \quad (2-3)$$

Dimana P = besar beban terpusat (N)

l = panjang bentang bersih (mm)

E = modulus elastisitas (Mpa)

I = momen inersia penampang (mm⁴)

2.12 Hipotesa

Hipotesa pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap kekuatan tarik dan tekan pada balok beton bertulang bambu.
2. Ada pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang bambu.

3. Ada pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap lendutan balok beton bertulang bambu.
4. Ada pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap kekakuan balok beton bertulang bambu.
5. Terdapat pengaruh yang signifikan dari interaksi penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice*.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian tentang “Interaksi antara Serat Bambu dengan Komposisi Semen Dan Agregat Kasar Batu Apung terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Bambu” ini, akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Waktu penelitian diperkirakan akan dimulai pada bulan April hingga Juni 2016.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Satu set ayakan
2. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr sampai 10 gr
3. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*)
4. Tongkat pemadat
5. Alat uji slump (*kerucut Abrams*)
6. Alat penggetar (*vibrator*)
7. Ember
8. Sekop
9. Talam
10. Rangka pembebanan
11. Dongkrak hidrolik
12. *Proving ring* pembaca beban
13. *LVDT* pembaca lendutan
14. Baskom
15. Alat Penyaring
16. Alat uji tekan silinder
17. Kuas
18. Bor
19. Screw

Bahan-bahan yang digunakan adalah:

1. Semen PPC
2. Agregat halus berupa pasir dari pasaran
3. Agregat kasar berupa batu *pumice*
4. Serat bambu
5. Cat kayu
6. Tulangan bambu
7. Baja tulangan polos dengan $\varnothing 6$ mm sebagai sengkang.
8. Bendrat
9. Bekisting dengan ketebalan papan 12 mm

3.3 Analisa Bahan Yang Digunakan

3.3.1 Semen

Jenis semen yang digunakan adalah Semen tipe PPC (merk semen Gresik) dengan berat jenis $3,15 \text{ kg/m}^3$. Pada bahan semen ini tidak dilakukan pengujian khusus.

3.3.2 Air

Air yang digunakan adalah air bersih dari PDAM Kota Malang yang berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya. Air tersebut tidak dilakukan pengujian secara khusus.

3.3.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir. Pasir yang digunakan berasal dari Lumajang dengan dilakukan beberapa pengujian yaitu gradasi, berat jenis dan berat isi. Kebersihan pasir dari kotoran organik, non organik maupun lumpur akan selalu dijaga sehingga kualitasnya masih sama seperti yang didapat dari pasaran.

3.3.4 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah batu *pumice* atau batu apung. Batu *pumice* ini berasal dari Lombok yang mempunyai ukuran diameter maksimum 20 mm dengan berat jenis sebesar 1080 gr/cm^3 . Berdasarkan penelitian sebelumnya, agregat kasar ini diberikan perlakuan khusus yaitu dengan melapisi cat transparan agar nilai porositasnya makin mengecil sehingga beratnya makin berkurang. Dan dilakukan beberapa pengujian yang mendukung agar didapatkan perbandingan komposisi yang tepat, seperti gradasi, berat isi, dan berat jenis.

3.3.5 Bambu Tulangan

Jenis bambu tulangan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bambu Ori. Bambu ini dibeli di pasaran yang kemudian dibentuk seperti tulangan dengan panjang 154 cm, tinggi 1 cm, dan lebar 1,5 cm dan 2 cm. Pada bambu ini tidak dilakukan pengujian khusus.

3.3.6 Serat Bambu

Serat bambu yang dipakai adalah serat yang didapat dari sisa atau limbah pabrik tusuk sate. Serat bambu ini dianggap memiliki ketebalan dan lebar yang sama dan panjang yang berbeda, maka untuk panjang dari serat bambu yang dipakai adalah 1,5 hingga 2 kali dari diameter maksimum agregat kasar.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*Independent variable*) yaitu variabel yang perubahnya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian kali ini yang merupakan variabel bebas adalah serat bambu dan komposisi semen dengan batu *pumice*
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah analisa kuat lentur pada beton bertulang bambu.

3.5 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Yang mana cara untuk mendapatkan hasil atau data yang akan diperoleh, menggunakan suatu percobaan. Data tersebut nantinya akan digabungkan dengan variabel yang akan diselidiki, sehingga diperoleh beberapa hasil yang akan menjadi pembanding terhadap data yang sudah ada. Disinilah akan diketahui, apakah faktor dalam penelitian ini memiliki pengaruh terhadap variabel yang diteliti atau tidak.

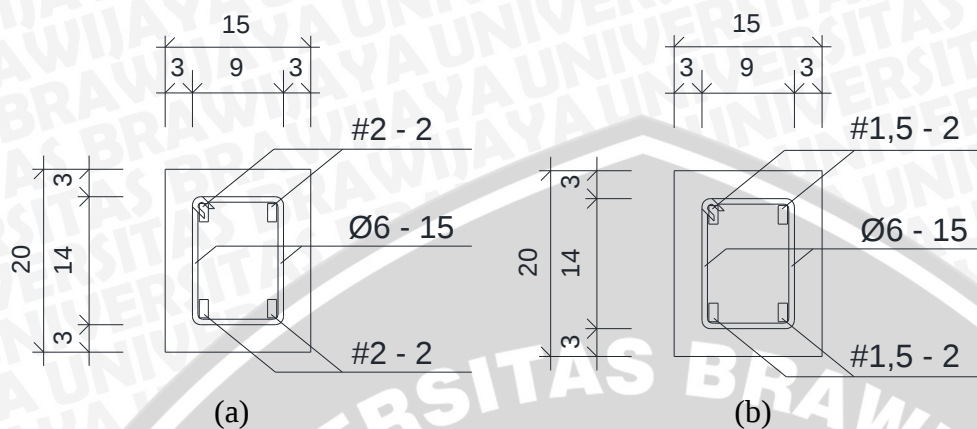
Jumlah benda uji dalam penelitian kali ini ada 12 buah dengan ukuran 15 x 20 x 160 cm dan benda uji *pull-out* sebanyak 8 buah dengan ukuran 15 x 25 x 27 cm, yang mana setiap benda ujinya dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. *Tabel Rancangan Benda Uji*

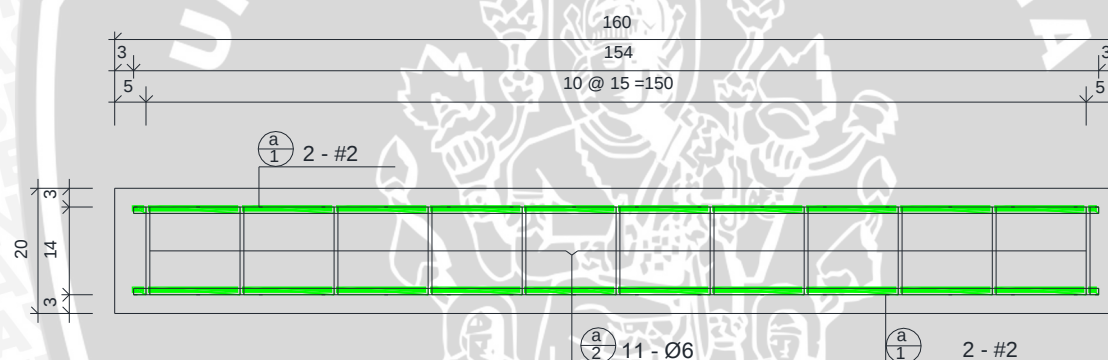
	Serat Rendah (A1)		Serat Tinggi (A2)	
	Komposisi Rendah (B1)	Komposisi Tinggi (B2)	Komposisi Rendah (B1)	Komposisi Tinggi (B2)
Rasio Rendah (C1)				
Rasio Tinggi (C2)				

2. Balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan sebesar 1%, campuran semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2 : 1 dengan tambahan serat bambu sebanyak 40 gr/volume benda uji.
3. Balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan 1,5%, campuran semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2,5 : 1,5 dengan tambahan serat bambu sebanyak 40 gr/volume benda uji.
4. Balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan 1,5%, campuran semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2 : 1 dengan tambahan serat bambu 150 gr/volume benda uji.
5. Balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan 1%, campuran semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2,5 : 1,5 dengan tambahan serat bambu 150 gr/volume benda uji.
6. 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 40 gr/volume benda uji.
7. 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 150 gr/volume benda uji.
8. 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 40 gr/volume benda uji.

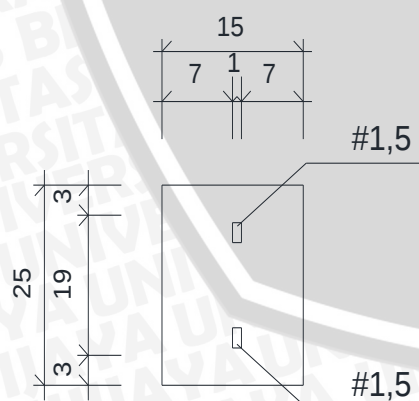
9. 2 balok *pull-out* yang menggunakan tulangan bambu dengan rasio sebesar 1%, perbandingan semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2,5 : 1,5 dan tambahan serat bambu sebanyak 150 gr/volume benda uji.



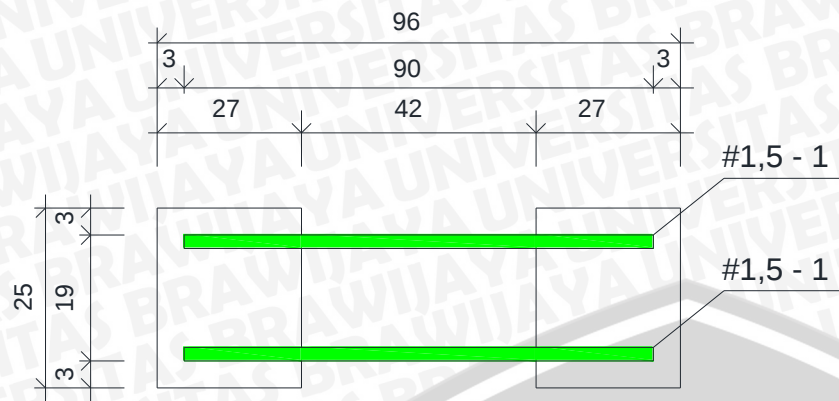
Gambar 3.1 (a) Potongan melintang benda uji 2 dan 3 (b) Potongan melintang benda uji 1 dan 4



Gambar 3.2 Potongan memanjang benda uji



Gambar 3.3 Potongan melintang benda uji *pull-out*



Gambar 3.4 Potongan memanjang benda uji *pull-out*

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Persiapan

Langkah awal penelitian ini adalah pekerjaan persiapan, yang mana persiapan yang diperlukan meliputi penyediaan material dan peralatan, pengecatan serat bambu beserta tulangan bambu dan batu *pumice*, pelumuran pasir pada serat bambu dan tulangan bambu yang telah dilapisi cat, pembuatan bekisting, dan pengadaan tulangan.

3.6.2 Analisa Bahan Agregat Halus dan Kasar

Pada tahap ini, agregat halus yang berupa pasir dan agregat kasar yang berupa batu *pumice* dilakukan beberapa analisa seperti specific gravity, berat jenis, dan berat isi. Pada analisa spesifik grafiti, untuk agregat kasar digunakan sampel sebanyak 5 kg dan agregat halus sebanyak 1 kg. Agregat tersebut nantinya ditimbang beratnya dan kemudian diletakkan pada satu set ayakan yang sudah tersusun mulai dari diameter mata ayakan 1,5 inchi hingga no.4 untuk agregat kasar, sedangkan agregat halus dimulai dari diameter mata ayakan no.4 hingga no.200. Setelah itu, agregat diayak selama 15 menit dan ditimbang kembali bahan yang tertinggal di masing-masing ayakan.

Untuk analisa berat jenis, agregat halus dalam percobaan ini tidak diuji karena memakai data yang sudah ada, namun untuk agregat kasar tetap diuji berat jenisnya. Sampel yang digunakan adalah 5 kg agregat kasar, yang mana agregat tersebut direndam di air selama 1 jam. Kemudian permukaan dari agregat dikeringkan dan ditimbang. Setelah dari penimbangan, seluruh agregat kemudian ditimbang kembali ke dalam air. Sedangkan pada analisa berat isi menggunakan metode rodding, yang mana dalam analisa ini penggunaan kotak takar yang berisi air penuh dan kosong ditimbang terlebih dahulu. Tiap-tiap benda uji diletakkan pada takar kosong dan takar yang telah berisi air penuh. Kemudian setiap takarnya diisi dengan benda uji dalam 3 lapisan sama tebalnya, dimana setiap lapisannya

ditusuk-tusuk dengan tongkat penusuk baja sebanyak 25 kali. Setelah itu, ditimbang kembali kotak takar yang berisi benda uji.

Semua analisa tersebut dilakukan agar memudahkan dalam pembuatan beton ringan yang sesuai dengan perencanaan campuran beton dengan mutu yang diharapkan.

3.6.3 Uji Tekan Beton Silinder

Untuk pengujian ini, terlebih dahulu dilakukan pembuatan beton pada cetakan baja silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Total benda uji beton silinder ini didapatkan dari setiap kali pengecoran satu buah balok yang menghasilkan 3 buah benda uji silinder beton.

Beton yang telah berumur 1 hari dan sudah dalam kondisi kering, dilepas cetakan bajanya dan kemudian direndam di dalam air hingga waktu yang ditentukan. Tiga hari sebelum dilakukan pengujian tekan, beton diangkat dari rendaman air agar saat pengujian, beton tersebut dalam keadaan kering.

Pengujian tekan beton silinder ini dilaksanakan pada saat beton berumur 7 hari yang mana setiap pengujiannya dilakukan sebanyak 5 hingga 10 buah benda uji.

3.6.4 Pembuatan Balok

1. Penulangan

Untuk penulangan balok ini menggunakan tulangan bambu, dimana bambu yang digunakan telah dilapisi cat polimer dan dilumuri oleh pasir. Tulangan bambu ini memiliki ukuran 20 x 10 mm dan 15 x 10 mm. Peletakkan tulangan bambu pada penelitian ini umumnya sama dengan tulangan baja, hanya saja bagian kulit pada tulangan bambu ini dihadapkan ke atas agar mampu menahan gaya tekan dari beton. Karena bambu pada dasarnya tidak dapat berbentuk lurus memanjang, maka dipasang tulangan baja polos sebagai sengkang dengan ukuran Ø6-140 yang berfungsi mengikat tulangan bambu sekaligus meluruskan posisi dari tulangan bambu.

2. Uji Slump

Bersamaan dengan pengecoran, dilakukan juga pengujian kelecakan (*slump test*) yang bertujuan untuk mengetahui nilai *slump* beton. Uji *slump* dilakukan pada awal kali pengecoran, dengan tujuan untuk mendapatkan nilai *slump* yang diukur dari tinggi permukaan alat sampai tinggi permukaan beton jatuh. Nilai *slump* yang diperoleh saat dilakukan pengecoran adalah 12 cm pada awal pengecoran.

3. Pengecoran dan Perawatan (*Curing*)

Bahan-bahan dan material yang telah disiapkan, dituangkan dalam satu molen sesuai dengan takaran perhitungan. Campuran bahan tersebut diaduk di dalam molen hingga terlihat tidak terlalu kental dan tidak terlalu cair. Sekiranya campuran bahan sudah merata, dituangkan dalam bekisting sampai terisi penuh. Bekisting juga dikondisikan tidak berubah posisi sampai beton benar-benar kering. Sebelum beton dalam keadaan kering, dilakukan juga pemadatan dengan menggunakan *vibrator* agar rongga-rongga yang kosong di dalam bekisting saat penuangan adonan semen, pasir, batu pumice, dan serat bambu dapat terisi tanpa celah.

Selama pengecoran, bekisting yang sudah terisi oleh beton dan dalam kondisi kering, ditutupi permukannya dengan lembaran plastik. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya hidrasi yang berlebihan sehingga didapatkan hasil yang maksimal.

Setelah 7 hari dari pengecoran, beton dilepas dari bekistingnya. Untuk menjaga beton tetap lembab, maka dilakukan perawatan (*curing*) dengan menggunakan karung basah, yang mana karung basah tersebut menutupi seluruh permukaan beton. Kondisi ini berlangsung hingga beton berumur 14 hari.

3.6.5 Pembuatan Benda Uji *Pull-Out*

Pembuatan benda uji *pull-out* dalam penelitian ini, sama halnya dengan membuat balok, namun hanya dimensinya saja yang berbeda. Benda uji *pull-out* ini direncanakan menggunakan 2 tulangan yang terletak di bagian atas dan bawah, dimana tulangan tersebut dicor pada 2 balok yang diletakkan pada sisi kanan dan kiri tulangan.. Balok yang dibuat, diberikan pengaruh penambahan serat dan komposisi semen dan agregat baik pada taraf tinggi maupun rendah. Tetapi, tulangan yang digunakan hanya pada tingkat rasio rendah. Setelah dicor, dilakukan perawatan (*curing*) dengan menggunakan karung yang dibasahi dan diletakkan di atas benda uji hingga berumur 7 hari. Sesudahnya 7 hari, bekisting dari balok *pull-out* bisa dilepas dan tetap dilakukan perawatan hingga 14 hari dari masa pengecoran. Benda uji *pull-out* siap untuk diuji ketika sudah berumur 28 hari.

3.7 Cara Penelitian dan Pengujian

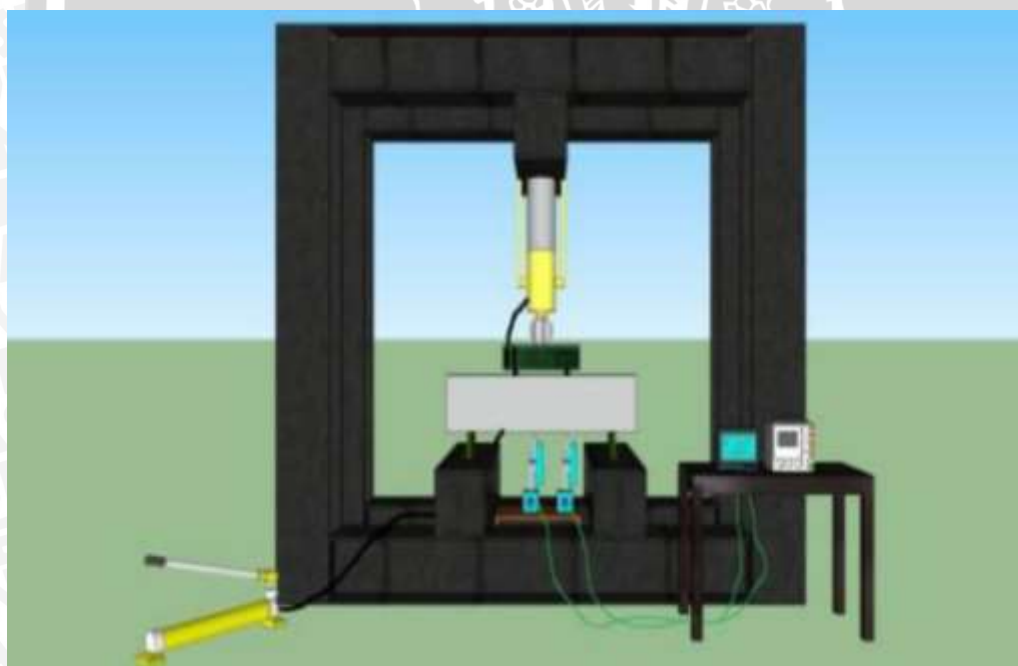
Pengujian benda uji, dilaksanakan setelah beton berumur 28 hari dari masa pengecoran dan telah dilakukan *curing* selama 7 hari. Balok ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan dua tumpuan. Balok diberikan dua beban terpusat vertikal sama besar. Beban terpusat vertikal pada balok dikerjakan oleh pompa hidrolik (*hydraulic jack*).

Penambahan beban dibaca pada alat *strain meter* dan pembacaan lendutan dibaca pada alat *LVDT*. Sebelum dilakukan pengujian terhadap benda uji, terlebih dahulu skala pembacaan beban harus dikalibrasi. Setelah peralatan benda uji siap pada rangka pengujian, pembebanan segera dilakukan secara berangsur-angsur dari beban nol sampai dengan beban maksimum yang dapat diterima beton.

Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian adalah *load cell*, *hydraulic actuator*, *hydraulic jack*, *data logger*, dan *LVDT*. Penggunaan *load cell* dalam penelitian ini berjumlah 1 buah, dimana benda tersebut diletakkan pada sisi memanjang balok yang berfungsi sebagai pembaca beban aksial. *Set-up* pengujian secara skematik ditunjukkan dalam Gambar 3.5.

Langkah – langkah dalam pengujian percobaan ini adalah sebagai berikut:

1. Balok uji ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan dua tumpuan. Balok diberikan beban terpusat vertikal yang sama besar pada masing-masing batang.
2. Balok dibebani secara bertahap sampai didapatkan beban maksimum dan lendutan
3. Pembacaan beban pada alat *proving ring* dan lendutan pada alat *LVDT*.



Gambar 3.5 Skema pengujian balok sederhana

Sedangkan untuk pengujian pull-out, benda uji yang sudah berumur 28 hari dilakukan pengujian dengan meletakkan benda uji dibidang datar yang rata dengan tanah atau beralaskan bidang datar. Pada balok pull-out pertama diberi tumpuan sendi dan balok yang kedua diberi tumpuan rol. Diantara 2 tulangan dipasang *pistone* yang disambungkan dengan *load cell* pada ujung *pistone*. Kemudian dihubungkan pompa hidrolik pada *pistone* agar

dapat dipompa dan kabel *load indicator* dipasang pada *load cell* agar dapat dibaca beban yang telah dipompa hidrolik.

Pemasangan *dialgauge* diletakkan pada sisi samping benda uji dengan tujuan agar dapat dibaca perpindahan yang terjadi. Sehingga dari pengujian ini, didapatkan nilai displacement dan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok tersebut hingga mengalami kondisi slip.

3.8 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian kali ini, pengumpulan data benda uji adalah sebagai berikut; dengan membuat 2 (dua) buah balok kontrol beton bertulang yang mana 1 (satu) buah balok beton dengan kondisi rasio tulangan bambu sebesar 1% yang campuran semen : pasir : kerikil nya adalah 1 : 2,5 : 1,5 dengan kadar serat 0 gr/volume benda uji. Dan 1 (satu) buah balok beton lagi dengan kondisi rasio tulangan baja sebesar 1% yang campuran semen : pasir : kerikil nya didapatkan melalui *mix design*, dengan mutu beton yang diambil dari 12 balok yang telah diuji. Dua belas balok itu terdiri dari 3 buah balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan sebesar 1% yang mana campuran semen : pasir : batu *pumice* adalah 1 : 2 : 1 ditambah dengan serat yang kadarnya sebesar 40 gr/volume benda uji, 3 buah balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan sebesar 1,5% yang mana campuran semen : pasir : batu *pumice* adalah 1 : 2,5 : 1,5 ditambah dengan serat yang kadarnya sebesar 40 gr/volume benda uji, 3 buah balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan sebesar 1% yang mana campuran semen : pasir : batu *pumice* adalah 1 : 2 : 1 ditambah dengan serat yang kadarnya sebesar 150 gr/volume benda uji, 3 buah balok beton bertulang bambu dengan rasio tulangan sebesar 1,5% yang mana campuran semen : pasir : batu *pumice* adalah 1 : 2,5 : 1,5 ditambah dengan serat yang kadarnya sebesar 150 gr/volume benda uji. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat hasil pengukuran beban maksimum dan lendutan yang terjadi.

3.9 Analisa Data

3.9.1 Analisis Statistik

Ilmu statistik secara luas dipakai dalam penelitian atau eksperimen untuk mengkaji pengaruh variabel bebas yang sengaja divariasikan terhadap respon atau variabel terikat. Benda uji yang akan dibuat adalah balok beton bertulang bambu berukuran 150 x 200 x 1600 mm dengan variasi sampel sebagai berikut :

- A. Serat bambu sebesar 40 gr/volume benda uji dan 150 gr/volume benda uji
- B. Komposisi semen dan agregat 1 : 2,5 : 1,5 dan 1 : 2 : 1
- C. Rasio tulangan 1% dan 1,5%

Benda uji dibuat berdasarkan perhitungan sampel dengan percobaan faktorial sebagian. Rancangan faktorial yang digunakan adalah rancangan faktorial setengah. Apabila eksperimen memerlukan banyak faktor, secara simultan maka dibutuhkan benda uji yang banyak dan cara yang dapat digunakan untuk mengurangi jumlah benda uji dengan menggunakan dua atau tiga level saja untuk setiap faktor.

Percobaan faktorial $2^k = 2^3$ yang memanfaatkan setengah faktorial, faktor yang dipilih adalah :

Tabel 3.2. *Faktor Perlakuan Benda Uji*

	Faktor	Keterangan	
A1	Serat bambu	40 gr/volume benda uji	-
A2	Serat bambu	150 gr/volume benda uji	+
B1	Komposisi semen dan agregat	1 : 2 : 1	-
B2	Komposisi semen dan agregat	1 : 2,5 : 1,5	+
C1	Rasio tulangan	1%	-
C2	Rasio tulangan	1,5%	+

Keterangan, dengan asumsi:

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

Jika ingin mengetahui pengaruh utama faktor A (kontras A) dari rancangan percobaan diatas, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

Kombinasi perlakuan	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
abc	+	+	+	+	+	+	+
a	+	-	-	-	-	+	+
b	-	+	-	-	+	-	+
c	-	-	+	+	-	-	+
ab	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	-	+	-	+	-	-
bc	-	+	+	-	-	+	-
(1)	-	-	-	+	+	+	-

Gambar 3.6 Rancangan faktorial sebagian

$$\text{Kontras A} = (A_2B_1C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_1C_1 + A_1B_2C_2)$$

$$\text{Kontras B} = (A_1B_2C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_1C_1 + A_2B_1C_2)$$

$$\text{Kontras AB} = (A_1B_1C_1 + A_2B_2C_1) - (A_1B_2C_2 + A_2B_1C_2)$$

Dari rancangan percobaan faktorial diatas, pengaruh dari taraf tertentu yang tidak berarti dapat diabaikan untuk menghindari terjadinya pemborosan. Untuk mempermudah, dapat dijelaskan pada persamaan eliminasi dibawah ini :

Kontras A

$$\begin{array}{rcl}
 A_1B_1C_2 & & B_1 \quad B_2 \\
 A_1B_2C_1 & & C_2 \quad C_1 \\
 & & = \\
 A_2B_1C_1 & & B_1 \quad B_2 \\
 A_2B_2C_2 & & C_2 \quad C_1 \\
 \hline
 & 2A_1 & - \quad 2A_2
 \end{array}$$

Kontras B

$$\begin{array}{rcl}
 A_1B_1C_2 & 2B_1 & + \quad A_1 \quad A_2 \\
 A_2B_1C_1 & & C_1 \quad C_2 \\
 & = & \\
 A_1B_2C_1 & 2B_2 & + \quad A_1 \quad A_2 \\
 A_2B_2C_2 & & C_1 \quad C_2 \\
 \hline
 & 2B_1 & - \quad 2B_2
 \end{array}$$

Kontras AB

$$\begin{array}{rcl}
 A_1B_1C_2 & A_1B_1 & + \quad A_2B_2 & + \quad C_2 \\
 A_2B_2C_2 & & & C_2 \\
 & = & \\
 A_1B_2C_1 & A_1B_2 & + \quad A_2B_1 & + \quad C_1 \\
 A_2B_1C_1 & & & C_1 \\
 \hline
 & A_1B_1 & + \quad A_2B_2 & - \quad A_1B_2 & - \quad A_2B_1 & + \quad 2C_2 & - \quad 2C_1
 \end{array}$$

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

➤ Tahap 1

Hitung FK, JKT, JKP, dan JKG seperti pada prosedur RAL tanpa memandang percobaan faktorial (kombinasi perlakuan). Jika r, a, b dan c masing-masing adalah banyaknya ulangan, banyaknya taraf faktor A, banyaknya taraf faktor B dan banyaknya taraf faktor C maka:

$$JKP = JKA = JKB = JKAB$$

$$JKT = \sum \sum y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{\text{banyak benda uji}}$$

$$JKG = JKT - JKP$$

➤ Tahap 2

Tentukan derajat bebas (DB) masing-masing melalui:

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

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

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

➤ Tahap 3

Dari nilai-nilai total perlakuan yang dipakai untuk menghitung JKP, dicari nilai jumlah kuadrat (JK) untuk pengaruh utama dan interaksi, sebagai berikut:

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

$$JKB = \frac{(\text{Kontras B})^2}{2^2n}$$

$$JKAB = \frac{(\text{Kontras AB})^2}{2^2n}$$

➤ Tahap 4

Menentukan derajat bebas untuk pengaruh utama dan interaksi.

DB faktor A = $a - 1$ = banyaknya taraf faktor A - 1

DB faktor B = $b - 1$ = banyaknya taraf faktor B - 1

DB interaksi AB = $(a - 1)(b - 1)$

➤ Tahap 5

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

KA = JKA / DB

KTB = JKB / DB

KTAB = JKAB / DB

➤ Tahap 6

Menyusun daftar analisis ragam seperti dibawah ini:

Tabel 3.3. Tabel Anova

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F - hitung	F - tabel
Perlakuan					
A	$a - 1$	JKA	KA	JKA / JKG	
B	$b - 1$	JKB	KTB	JKB/JKG	
AB	$(a - 1)(b - 1)$	JKAB	KTAB	JKAB/JKG	
Galat	$abc - a$	JKG	KTG		
Total	$abc - 1$	JKT	-		

Setelah didapatkan F-hitung tiap perlakuan dari percobaan ini, maka hasil tersebut dapat dibandingkan dengan F-tabel. Jika hasil dari F-hitung lebih besar dari F-tabel maka variabel bebas tersebut memiliki pengaruh terhadap variabel terikat penelitian ini dan juga sebaliknya.

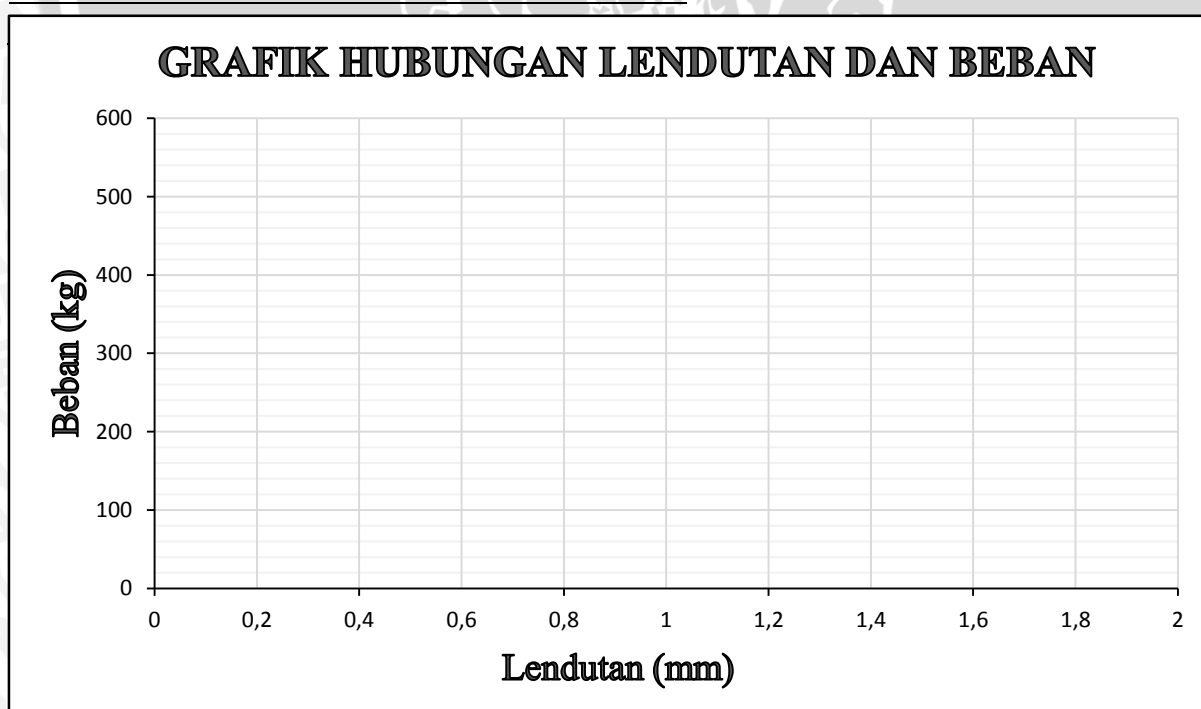
3.9.2 Analisis Lentur

Benda uji yang akan diteliti kali ini meninjau dari segi kekuatan lentur, dimana gaya lentur suatu komponen struktur sangat diperhitungkan. Sesuai dengan bahasan penelitian ini nilai beban, lendutan, dan berat akan dilampirkan ke dalam tabel dan grafik sebagai berikut:

Tabel 3.4. *Form Data Pengujian Balok*

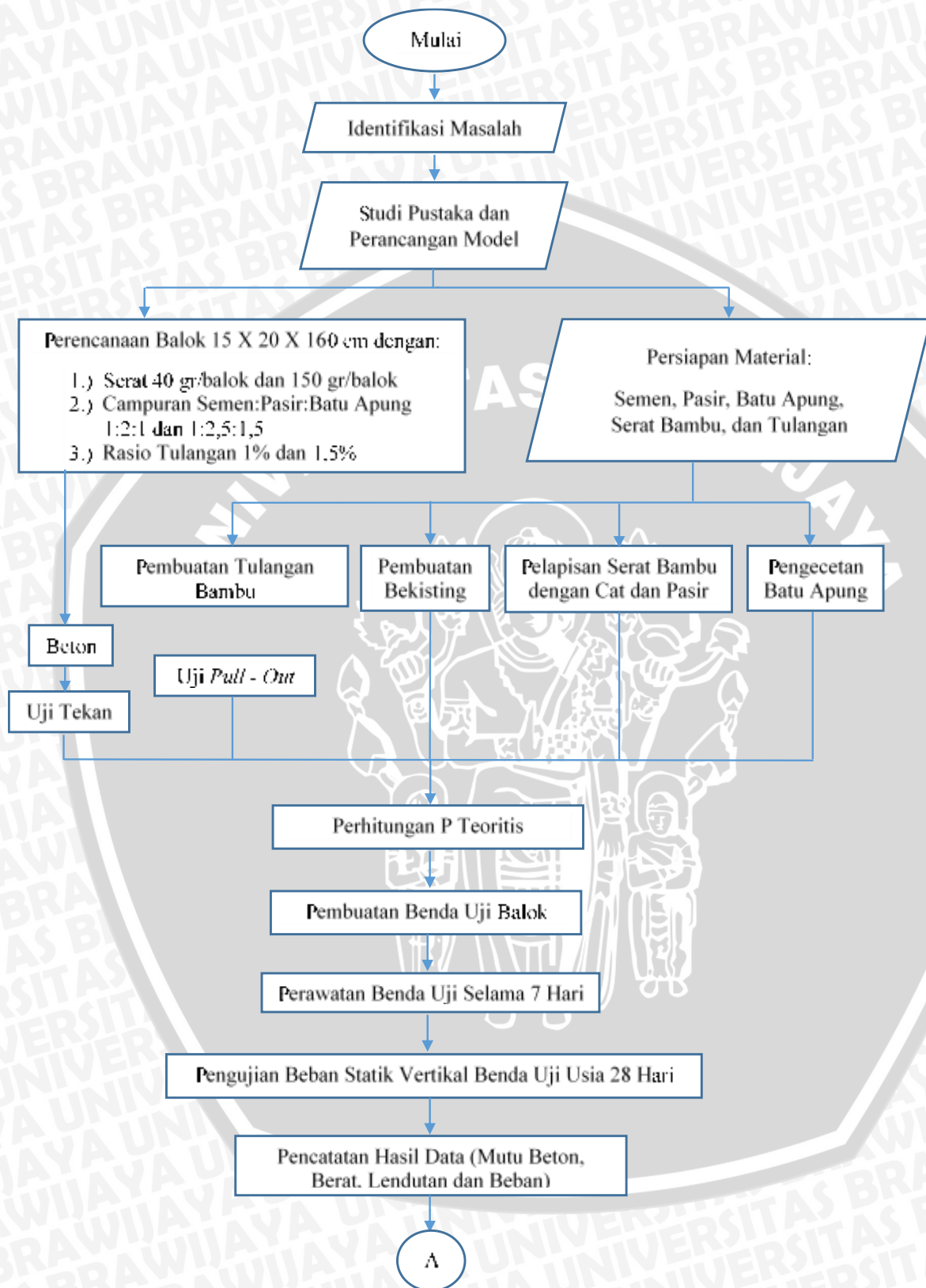
PENGUJIAN BALOK BETON BERTULANG BAMBU

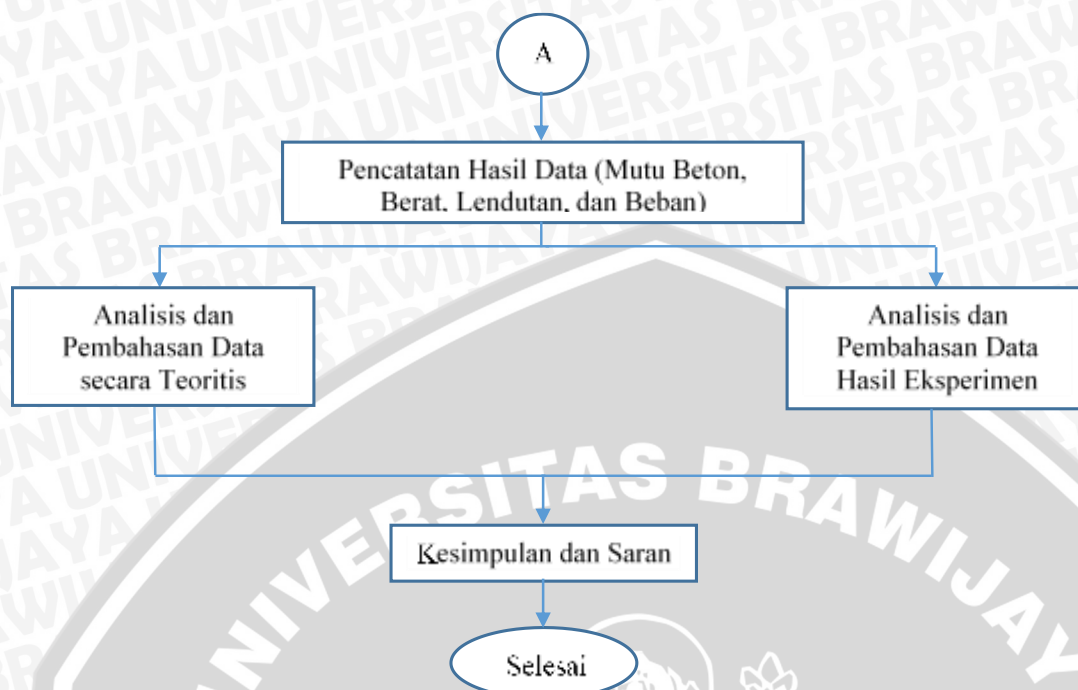
Nama Benda Uji	:	
Tanggal Pengujian	:	
Komposisi Benda Uji	:	
Umur Benda Uji	:	
Berat Benda Uji	:	
Tahapan		Defleksi (mm)
Beban	Beban (kg)	Titik 1 Titik 2



Gambar 3.7 Grafik hubungan antara lendutan dan beban

3.10 Diagram Langkah-Langkah Penelitian





Gambar 3.8 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Beton

4.1.1 Pengujian Beton Segar

Beton segar ialah campuran dari semen, agregat halus, dan agregat kasar yang baru dikeluarkan dari mesin pengadukan (molen) atau tempat pencampuran. Nilai *slump* ialah angka yang menunjukkan sifat kelecakan dari beton segar. Angka tersebut diambil dengan cara mengukur besarnya penurunan beton segar dari tinggi cetakan *slump* ke bagian atas beton segar. Untuk pengujian *slump* sendiri dilakukan dengan cara memasukkan beton segar dari mesin pengaduk ke dalam alat penguji *slump* berbentuk kerucut dengan mengisi setiap 1/3 bagiannya lalu ditusuk sebanyak 25 kali. Hal ini dilakukan sebanyak 3 kali dalam 1 kali pengujian *slump*. Target *slump* untuk pengujian ini mengikuti syarat dari nilai *slump* pada PBI yaitu 75 mm hingga 150 mm. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Slump

Benda Uji	No.	Slump (mm)
A1B2C2	1	100
	2	100
	3	95
A2B2C1	1	80
	2	70
	3	70
A1B1C1	1	115
	2	120
	3	125
A2B1C2	1	90
	2	95
	3	85
A0B2C1	1	120
	2	120
	3	115
Normal	1	120
	2	120
	3	130



Gambar 4.1 Pengujian slump

4.1.2 Pengujian Tegangan *Pull-Out*

Pengujian tegangan *pull-out* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tegangan lekatan antara bambu dengan beton. Proses pengujian *pull-out* sendiri dilaksanakan dengan cara meletakkan tabung *pistone* diantara 2 tulangan bambu yang sebelumnya tiap-tiap ujung tulangan bambu dilakukan pengecoran hingga beton berumur 28 hari. Tabung *pistone* dihubungkan pada pompa hidrolik dimana ujung *pistone* dipasang dengan *loadcell*. Selanjutnya dilakukan proses pemompaan hingga tulangan yang terpasang pada balok mengalami slip (lepasnya lekatan antara tulangan bambu dengan beton) dengan diiringi proses pembacaan beban setiap penambahan 20 kg dan pembacaan perpindahan yang terjadi. Setting pengujian tegangan *pull-out* ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Setting pengujian *pull-out*

Hasil dari pengujian *pull-out* didapatkan nilai beban dan *displacement*, namun yang digunakan untuk perhitungan tegangan *pull-out* hanyalah beban (P) saja. Sehingga tegangan lekat bambu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4-1) dimana nilai dari

tegangan lekat bambu ini nantinya akan digunakan pada perhitungan selanjutnya. Dan untuk hasil pengujian tegangan *pull-out* dapat dilihat pada Tabel 4.2

$$f_y = \frac{P}{A} \quad (4-1)$$

dengan:

f_y = Tegangan lekat bambu (Mpa)

P = Beban (kg)

A = Luas permukang tulangan (cm^2)

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Pull-Out

Benda Uji	Ukuran Penampang			Keliling $2(P+L)$ (cm)	No.	Beban Maksimum (kg)	Rata - Rata Beban (kg)	f_y (Mpa)
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Panjang Penyaluran (cm)					
A1B2C1	1,5	1	24	5	1	720	830	0,173
					2	940		
A2B2C1	1,5	1	24	5	1	700	560	0,117
					2	420		
A2B1C1	1,5	1	24	5	1	880	720	0,150
					2	560		
A1B1C1	1,5	1	24	5	1	1140	890	0,185
					2	640		
A0B2C1	1,5	1	24	5	1	650	625	0,130
					2	600		

Berdasarkan dari Tabel 4.2, hasil tegangan lekat bambu dengan menggunakan rasio tulangan rendah menunjukkan adanya penurunan kuat lekat pada pengaruh penambahan serat. Namun, hal ini berbanding terbalik dengan pengaruh komposisi semen dan agregat, dimana kuat lekat bambu yang dihasilkan dari mutu beton rendah (komposisi tinggi) ke mutu beton tinggi (komposisi rendah) mengalami peningkatan.

4.1.3 Perencanaan Komposisi Beton

Dalam sebuah perencanaan beton, biasanya didahulukan dengan perencanaan *mix design* agar didapatkan perbandingan komposisi yang tepat dan sesuai dengan mutu yang direncanakan. Tetapi, pada penelitian ini tidak dilakukan perencanaan *mix design* dikarenakan beton yang digunakan menggunakan material yang ringan dan perencanaan *mix design* untuk beton ringan sendiri masih belum ada. Maka sebelum penelitian dilaksanakan, dilakukan sebuah percobaan agar didapatkan komposisi yang tepat dan mutu beton yang sesuai dengan beton ringan yaitu 15 hingga 20 Mpa. Untuk komposisi yang dimaksud dalam

penelitian ini ialah semen, pasir dan batu *pumice*. Selanjutnya, dilakukan analisa berat isi dari setiap bahan penyusun beton. Hasil dari analisa berat isi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. *Berat Isi Material Beton Ringan*

	Semen	Pasir	Batu Apung
Berat Isi (kg/m^3)	3150	1914	658

Dari data di atas, diperoleh berat isi material penyusun beton ringan dimana nilai dari berat isi tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan kebutuhan tiap komposisi untuk 1 buah balok. Tahapan perhitungan kebutuhan komposisi untuk 1 balok adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan nilai volume balok

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 1,6 \times 0,15 \times 0,2 = 0,048 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- b. Menentukan kebutuhan banyaknya bahan

- Komposisi 1 : 2 : 1 (B1)

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= \frac{1}{4} \times V \times W_c \\ &= \frac{1}{4} \times 0,048 \times 3150 \\ &= 37,80 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pasir} &= \frac{2}{4} \times V \times W_c \\ &= \frac{2}{4} \times 0,048 \times 1914 \\ &= 45,94 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Batu Apung} &= \frac{1}{4} \times V \times W_c \\ &= \frac{1}{4} \times 0,048 \times 658 \\ &= 7,90 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air} &= FAS \times \text{Berat Semen} \\ &= 0,4 \times 37,80 \\ &= 15,12 \text{ kg}\end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan di atas, didapatkan nilai berat campuran untuk 1 buah balok pada komposisi rendah (B1) yaitu semen sebesar 37,80 kg, pasir sebesar 45,94 kg, batu *pumice* sebesar 7,90 kg dan air sebesar 15,12 kg.

- Komposisi 1 : 2,5 : 1,5 (B2)

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= \frac{1}{5} \times V \times W_c \\ &= \frac{1}{5} \times 0,048 \times 3150 \\ &= 30,24 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pasir} &= \frac{2,5}{5} \times V \times W_c \\ &= \frac{2,5}{5} \times 0,048 \times 1914 \\ &= 45,94 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Batu Pumice} &= \frac{1,5}{5} \times V \times W_c \\ &= \frac{1,5}{5} \times 0,048 \times 658 \\ &= 9,48 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air} &= FAS \times \text{Berat Semen} \\ &= 0,4 \times 30,24 \\ &= 12,10 \text{ kg}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, nilai berat campuran untuk 1 buah balok pada komposisi tinggi (B2) yaitu semen sebesar 30,24 kg, pasir sebesar 45,94 kg, batu apung sebesar 9,48 kg dan air sebesar 12,10 kg.

4.1.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda uji yang dibuat pada pengujian kuat tekan beton ini 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. Untuk perawatan benda uji dilakukan setelah beton berumur 1 hari dan telah dilepas dari bekisting. Proses *curing* berlangsung selama 2 minggu atau 14 hari dengan tujuan untuk mengurangi proses hidrasi pada beton sehingga tidak menimbulkan retakan. Proses ini dilakukan dengan cara membasahi karung goni dan meletakkannya di atas benda uji silinder serta disiram dengan air. Ketika umur beton telah mencapai 28 hari, maka benda uji silinder dapat diuji. Adapun perhitungan kuat tekan pada silinder menggunakan persamaan (4-2).

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (4-2)$$

dengan:

$$f'_c = \text{Kuat tekan beton (Mpa)} \quad A = \text{Luas penampang tulangan (cm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Beban (N)}$$

Hasil dari pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6, dan Tabel 4.7.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A1B2C2

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)	(fci-fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²
1	A1B2C2	176,715	304	30400	172,029	355,806
2	A1B2C2	176,715	328	32800	185,610	27,895
3	A1B2C2	176,715	352	35200	199,191	68,884
4	A1B2C2	176,715	332	33200	187,874	9,109
5	A1B2C2	176,715	320	32000	181,083	96,210
6	A1B2C2	176,715	301	30100	170,331	422,733
7	A1B2C2	176,715	334	33400	189,005	3,558
8	A1B2C2	176,715	407	40700	230,315	1554,194
9	A1B2C2	176,715	358	35800	202,587	136,772
Jumlah					1718,025	2675,159
fc'm					190,892	
SD					18,286	
f'c (kg/cm ²)					160,810	
f'c (Mpa)					16,081	

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A2B2C1

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)	(fci-fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²
10	A2B2C1	176,715	385	38500	217,865	70,987
11	A2B2C1	176,715	393	39300	222,393	167,766
12	A2B2C1	176,715	367	36700	207,680	3,099
13	A2B2C1	176,715	351	35100	198,625	116,957
14	A2B2C1	176,715	349	34900	197,494	142,718
15	A2B2C1	176,715	352	35200	199,191	105,038
16	A2B2C1	176,715	392	39200	221,827	153,427
17	A2B2C1	176,715	380	38000	215,036	31,315
18	A2B2C1	176,715	362	36200	204,850	21,068
Jumlah					1884,960	812,375
fc'm					209,440	
SD					10,077	
f'c (kg/cm ²)					192,863	
f'c (Mpa)					19,286	

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A1B1C1

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)	(fci-fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²
19	A1B1C1	176,715	363	36300	205,416	1466,239
20	A1B1C1	176,715	440	44000	248,989	27,895
21	A1B1C1	176,715	442	44200	250,121	41,131
22	A1B1C1	176,715	409	40900	231,447	150,328
23	A1B1C1	176,715	484	48400	273,888	910,862
24	A1B1C1	176,715	464	46400	262,570	355,806
25	A1B1C1	176,715	373	37300	211,075	1064,890
26	A1B1C1	176,715	425	42500	240,501	10,283
27	A1B1C1	176,715	476	47600	269,361	658,098
Jumlah					2193,37	812,375
fc'm					243,707	
SD					24,201	
f'c (kg/cm ²)					203,897	
f'c (Mpa)					20,390	

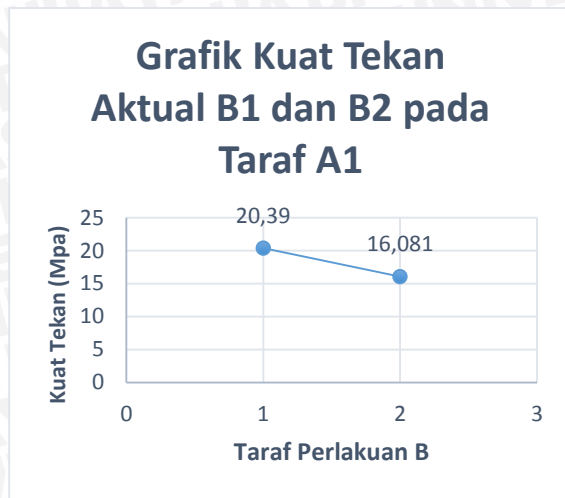
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton A2B1C2

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)	(fci-fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²
28	A2B1C2	176,715	422	42200	238,803	11,105
29	A2B1C2	176,715	420	42000	237,671	19,929
30	A2B1C2	176,715	447	44700	252,950	116,957
31	A2B1C2	176,715	464	46400	262,570	417,577
32	A2B1C2	176,715	361	36100	204,284	1432,726
33	A2B1C2	176,715	425	42500	240,501	2,672
34	A2B1C2	176,715	472	47200	267,097	623,091
35	A2B1C2	176,715	450	45000	254,648	156,558
36	A2B1C2	176,715	390	39000	220,695	459,705
Jumlah					2179,220	3240,321
fc'm					242,136	
SD					20,126	
f'c (kg/cm ²)					209,029	
f'c (Mpa)					20,903	

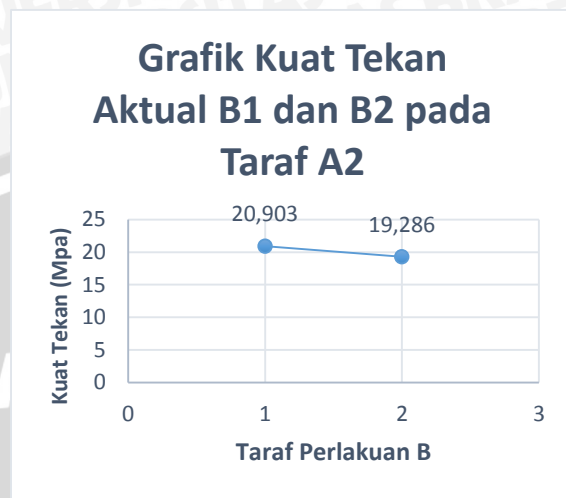
Keterangan:

- A1 = Penambahan serat bambu sebesar 40 gr
- A2 = Penambahan serat bambu sebesar 150 gr
- B1 = Komposisi semen : pasir : batu apung yaitu 1 : 2 : 1 (mutu tinggi)

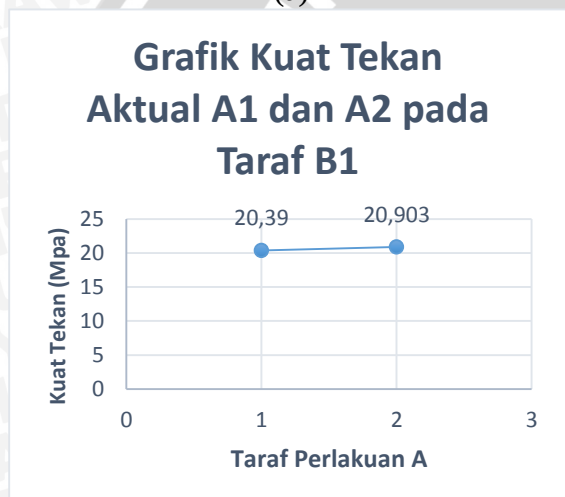
- B2 = Komposisi semen : pasir : batu apung yaitu 1 : 2,5 : 1,5 (mutu rendah)
- C1 = Rasio tulangan bambu 1% dengan dimensi 1,5 cm x 1 cm
- C2 = Rasio tulangan bambu 1,5% dengan dimensi 2 cm x 1 cm



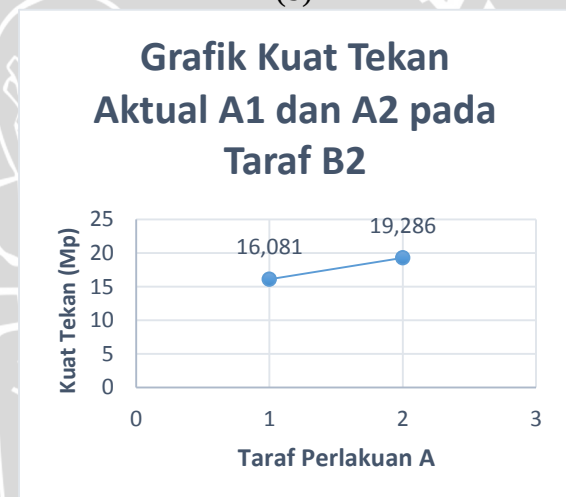
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.3 (a) Grafik kuat tekan aktual B1 dan B2 pada taraf A1 (b) Grafik kuat tekan aktual B1 dan B2 pada taraf A2 (c) Grafik kuat tekan aktual A1 dan A2 pada taraf B1 (d) Grafik kuat tekan aktual A1 dan A2 pada taraf B2

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, untuk komposisi A1B2C2 dan A2B2C1 diperoleh nilai kuat tekan beton sebesar 16,081 Mpa dan 19,286 Mpa. Sedangkan mutu beton yang direncanakan berkisar dari 15 Mpa hingga 20 Mpa. Maka, hasil ini menunjukkan bahwa mutu beton tersebut telah sesuai dengan perencanaan. Akan tetapi, pada komposisi A1B1C1 dan A2B1C2 didapatkan nilai kuat tekan beton sebesar 20,390 Mpa dan 20,903 Mpa. Hasil ini tidak sesuai dengan mutu beton yang direncanakan.

Namun, untuk interaksi yang terjadi antara pengaruh A dan B akan saling mempengaruhi. Hal ini terlihat dari Gambar 4.3 (a) dan (b), bahwa tren penambahan komposisi semen dan agregat pada taraf serat bambu tinggi dan rendah akan mengalami penurunan. Dan sebaliknya, dari Gambar 4.3 (c) dan (d) menunjukkan tren penambahan kadar serat bambu dengan taraf komposisi semen dan agregat tinggi dan rendah akan mengalami peningkatan. Sehingga dari kedua tren tersebut dapat disimpulkan bahwa serat bambu akan dipengaruhi oleh komposisi semen dan agregat untuk peningkatan mutu beton.

Hasil – hasil tersebut terjadi dikarenakan rentang mutu yang direncanakan terlalu dekat sehingga nilai kuat tekan yang didapatkan akan semakin jauh. Semua hasil kuat tekan di atas, nantinya akan digunakan sebagai nilai kuat tekan pada perhitungan teoritis selanjutnya.

4.2 Analisa Perhitungan Beban Maksimum

4.2.1 Pemodelan Struktur

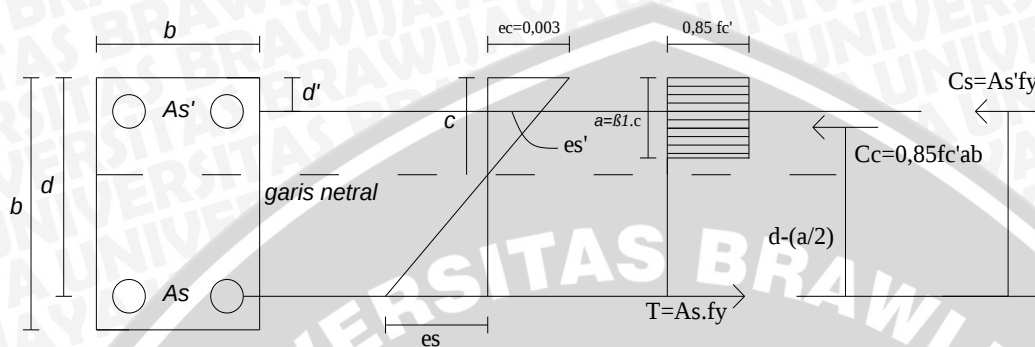
Sebelum melakukan sebuah penelitian, terlebih dahulu diperlukan desain struktur yang detail agar dalam menganalisis perhitungan teoritis dan pelaksanaan pengujian didapatkan hasil yang maksimal. Balok beton bertulang diasumsikan sebagai gelagar sederhana yang ditumpu oleh 2 tumpuan yaitu sendi dan rol. Balok tersebut dibebani oleh beban terpusat vertikal yang dibagi menjadi dua titik. Jarak dua titik pusat beban ke tumpuan sepanjang 55 cm dengan panjang titik 1 ke titik ke 2 yaitu 40 cm. Hal ini dilakukan agar dihasilkan kegagalan lentur pada balok bukan kegagalan geser. Untuk lebih jelasnya, pemodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.4 Pemodelan struktur

4.2.2 Analisa Beban Maksimum Teoritis

Secara teoritis, perhitungan beban maksimum pada balok dilakukan dengan menghitung kapasitas lenturnya dengan cara menggunakan analisa penampang. Dalam hal ini, balok diasumsikan bertulangan tunggal sehingga berlaku keseimbangan gaya, yaitu gaya tarik tulangan sama dengan gaya tekan beton pada daerah tekan.



Gambar 4.5 Analisis balok bertulangan tunggal

Diketahui :

Untuk komposisi balok A1B2C2

$$L = 1600 \text{ mm}$$

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

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

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

$$f_y = 0,173 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 2 \times [2 \times (20 + 10)] \times 1540 = 184800 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

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

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

$$a = \frac{184800 \times 0,173}{0,85 \times 16,081 \times 150}$$

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

Letak garis netral :

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

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

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

Kapasitas nominal :

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

$$Mn = 184800 \times 0,173 \times (170 - \frac{15,585}{2})$$

$$Mn = 5183336,2 \text{ Nmm}$$

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

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

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

$$P \text{ maks} = 1884,850 \text{ kg}$$

Dari perhitungan beban maksimum di atas, balok dengan komposisi A1B2C2 mampu menahan P maksimum sebesar 1884,850 kg. Sedangkan perhitungan beban maksimum untuk komposisi lainnya, yaitu balok A2B1C2, balok A1B1C1, balok A2B2C1, balok kontrol 1, dan balok kontrol 2 dapat dilihat pada Lampiran. Hasil perhitungan beban maksimum untuk keseluruhan komposisi ditunjukkan oleh Tabel 4.8

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan P Maksimum

No.	Benda Uji	P maks (kg)
1	A1B2C2	1884,850
2	A2B2C1	1086,799
3	A2B1C2	1661,179
4	A1B1C1	1708,187
5	BK 1	1201,187
6	BK 2	4467,918

4.2.3 Beban Maksimum Balok Aktual

Pengujian balok pada penelitian ini berdasarkan prosedur yang telah dituliskan dalam bab III, yaitu benda uji yang telah mencapai umur 28 hari bisa dilakukan pengujian di *loading frame* yang telah disiapkan. Balok tersebut diletakkan pada tumpuan sendi dan rol dengan jarak tumpuan ke ujung balok sebesar 5 cm. Beban diletakkan di tengah bentang dengan dua titik terpusat yang berjarak 55 cm dari masing-masing tumpuan, sehingga diharapkan beban yang bekerja adalah beban lentur murni. Dan data yang diambil dalam penelitian ini adalah lendutan dan beban. Dimana lendutan dibaca pada alat LVDT, sedangkan untuk beban yang bekerja dibaca pada alat *Load Indicator*.



Gambar 4.6 Setting pengujian balok

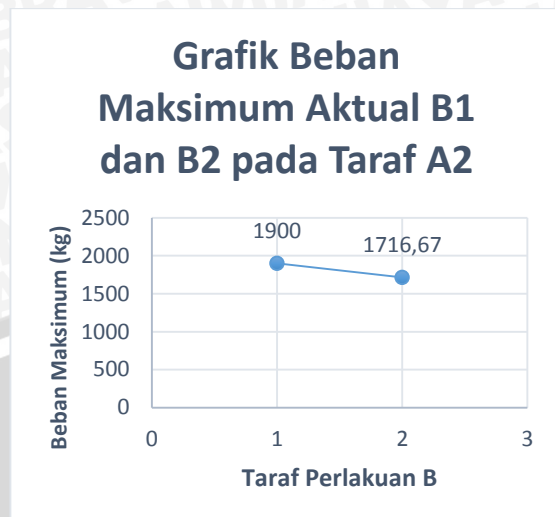
Tabel 4.9. Hasil Perbandingan Beban Maksimum Eksperimen dan Aktual

Benda Uji	No.	P maks (kg)			KR%
		Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	1650			
	2	2350	2200,00	1884,85	14,33
	3	2600			
A2B2C1	1	2150			
	2	1250	1716,67	1086,8	36,69
	3	1750			
A2B1C2	1	1950			
	2	2150	1900,00	1661,18	12,57
	3	1600			
A1B1C1	1	1850			
	2	1550	1950,00	1708,14	12,40
	3	2450			
BK 1 (A0B2C1)	1	950	950	1201,19	20,91
BK 2	1	2850	2850	4467,92	36,21

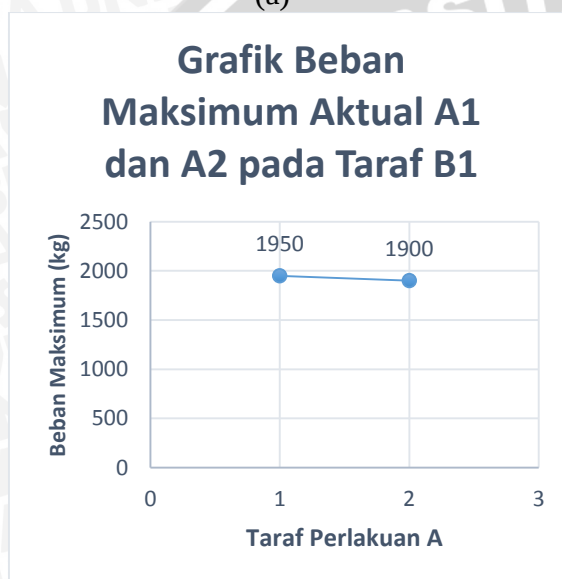
- A1 = Penambahan serat bambu sebesar 40 gr/volume benda uji
- A2 = Penambahan serat bambu sebesar 150 gr/volume benda uji
- B1 = Komposisi semen : pasir : kerikil yaitu 1 : 2 : 1 (mutu tinggi)
- B2 = Komposisi semen : pasir : kerikil yaitu 1 : 2,5 : 1,5 (mutu rendah)
- C1 = Rasio tulangan bambu 1% dengan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



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.7 (a) Grafik beban maksimum aktual B1 dan B2 pada taraf A1 (b) Grafik beban maksimum aktual B1 dan B2 pada taraf A2 (c) Grafik beban maksimum aktual A1 dan A2 pada taraf B1 (d) Grafik beban maksimum aktual A1 dan A2 pada taraf B2

Jika dilihat dari Tabel 4.9, nilai P maksimum aktual lebih besar dibanding nilai P maksimum teoritis dan nilai kesalahan relatifnya juga besar. Perbedaan yang besar ini disebabkan oleh nilai kuat lekat dari hasil uji *pull-out*. Dimana tulangan yang mengalami slip pada hasil uji *pull-out* rata-rata hanya satu tulangan saja, sedangkan tulangan yang digunakan saat uji *pull-out* ada dua sehingga nilai tegangan lekatnya kecil. Tegangan lekat pada tulangan sangat mempengaruhi nilai momen kapasitas sehingga berpengaruh terhadap beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok.

Dari hasil pengujian aktual, dengan mengabaikan pengaruh rasio tulangan baik rendah maupun tinggi, bahwa balok komposisi semen dan agregat tinggi dengan penambahan serat bambu rendah mampu menahan beban maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan

balok komposisi semen dan agregat rendah dengan penambahan serat bambu tinggi. Namun, berbeda keadaanya jika balok komposisi semen dan agregat rendah dengan penambahan serat bambu rendah dibandingkan dengan balok kontrol 1 (tidak mengandung serat bambu dan komposisi semen dan agregat tinggi). Untuk balok komposisi semen dan agregat rendah dengan penambahan serat bambu rendah dapat menahan beban maksimum yang lebih besar dari pada balok kontrol 1. Hal ini terjadi karena kadar serat bambu yang digunakan dalam penelitian, tidak dapat dipastikan dengan jelas untuk penambahan serat bambu yang optimum. Sehingga penambahan serat bambu dengan kadar 0 gram dibanding 40 gram sangat signifikan dalam menahan beban maksimum. Tetapi, untuk penambahan serat bambu dengan kadar 40 gram dibanding 150 gram terlihat jelas penurunan beban maksimumnya.

Dari hasil pengujian, interaksi yang terjadi antara pengaruh A dan B dapat dilihat dari tren penambahan komposisi semen dan agregat pada taraf serat bambu tinggi dan rendah. Dan juga dari tren penambahan kadar serat bambu dengan taraf komposisi semen dan agregat tinggi dan rendah. Sehingga pada tren yang pertama (Gambar 4.7 (a) dan (b)), nilai beban maksimum dipengaruhi oleh serat bambu sedangkan pada tren yang kedua (Gambar 4.7 (c) dan (d)), nilai beban maksimum tidak dipengaruhi oleh komposisi semen dan agregat

Penyebab dari hasil beban maksimum aktual yang berbeda dan juga tren yang berbeda dari interaksi A dan B, dikarenakan kondisi tulangan bambu pada balok mengalami slip terlebih dahulu atau daya lekat antara tulangan bambu dengan beton sudah mencapai batasnya, sehingga balok runtuh sebelum waktunya. Selain itu, penyebab lainnya ialah kurang dan tidak meratanya pemberian pasir pada tulangan bambu yang berakibat pada permukaan tulangan menjadi kurang kasar sehingga tegangan lekat yang terjadi semakin kecil. Inilah yang menyebabkan beban menjadi lebih kecil.

4.3 Berat Volume Balok

4.3.1 Berat Volume Teoritis

Dalam menghitung berat volume balok teoritis diperlukan data dari bahan penyusun balok tersebut, seperti : dimensi dari masing-masing bahan, berat jenis dari tiap bahan, dan jumlah dari setiap bahannya. Kemudian dilakukan perhitungan berat total dan volume total dari semua bahan penyusun sehingga didapatkan berat volume dari satu benda uji seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A1B2C2

Benda Uji	Bahan	Berat Isi (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A1B2C2	Bambu	1000	0,01	0,02	1,54	4	0,001232	1,232
	Beton	1873,5	0,15	0,2	1,6	1	0,048	89,93
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	92,172
							Berat Volume (kg/m ³)	1920,246

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A2B2C1

Benda Uji	Bahan	Berat Isi (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A2B2C1	Bambu	1000	0,01	0,015	1,54	4	0,000924	0,924
	Beton	1855,3	0,15	0,2	1,6	1	0,048	89,05
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	90,989
							Berat Volume (kg/m ³)	1895,595

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A2B1C2

Benda Uji	Bahan	Berat Isi (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A2B1C2	Bambu	1000	0,01	0,02	1,54	4	0,001232	1,232
	Beton	1995,3	0,15	0,2	1,6	1	0,048	95,77
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	98,017
							Berat Volume (kg/m ³)	2042,016

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Berat Volume Balok A1B1C1

Benda Uji	Bahan	Berat Isi (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A1B1C1	Bambu	1000	0,01	0,015	1,54	4	0,000924	0,924
	Beton	1978,9	0,15	0,2	1,6	1	0,048	94,99
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	96,924
							Berat Volume (kg/m ³)	2019,251

Berdasarkan Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13, bahwa berat volume pada komposisi balok A1B2C2 dan A2B2C1 lebih kecil dari berat volume pada komposisi balok A2B1C2 dan A1B1C1. Hal ini dikarenakan pada balok komposisi A1B2C2 dan A2B2C2 memiliki perbandingan komposisi semen dan agregat yang lebih tinggi sehingga berat pada tiap penyusun betonnya lebih ringan. Sebaliknya, balok komposisi A2B1C2 dan A1B1C1 yang komposisi semen dan agregatnya lebih kecil namun berat tiap penyusun betonnya lebih berat.

4.3.2 Berat Volume Balok Aktual

Pengujian berat volume balok beton dalam penelitian ini diperlukan beberapa data, antara lain : berat, panjang, lebar, dan tinggi balok. Pengambilan data-data tersebut dilakukan dengan menggunakan alat, yaitu : meteran untuk mengukur dimensi dari balok dan timbangan untuk mendapatkan berat balok beton. Semua data tersebut dapat diambil ketika balok sudah berumur 28 hari dari masa pengecoran dan telah melewati proses perawatan serta siap untuk diuji beban vertikal.

Tabel 4.14. Hasil Perbandingan Berat Volume Eksperimental dan Teoritis

Benda Uji	No.	Berat Volume (kg/m ³)			KR%
		Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	1803,817	1836,31	1920,25	4,37
	2	1844,967			
	3	1860,161			
A2B2C1	1	1864,726	1863,04	1895,60	1,72
	2	1860,959			
	3	1863,443			
A2B1C2	1	1922,400	1938,41	2042,02	5,07
	2	1930,110			
	3	1962,732			
A1B1C1	1	1944,174	1953,01	2019,25	3,28
	2	1982,737			
	3	1932,106			
BK 1	1	1832,897	1832,90	1944,22	5,73
BK 2	1	2386,640	2386,64	2333,865	2,21

Dari data tabel tersebut, pengujian berat volume balok secara aktual dengan perhitungan teoritis tidak terlalu berbeda. Untuk mutu beton yang lebih tinggi akan memiliki berat volume yang lebih besar dibanding dengan mutu beton yang rendah. Karena mutu beton tinggi akan membutuhkan semen yang lebih banyak dan air yang dibutuhkanpun juga lebih

besar mengingat air dipengaruhi oleh FAS. Selain itu, berat isi dari beton banyak mempengaruhi berat volume tersebut daripada tulangan bambu dan sengkang baja.

4.4 Analisa Perhitungan Lendutan

4.4.1 Lendutan Teoritis

Lendutan teoritis umumnya dapat dihitung dengan menggunakan berbagai cara, namun dalam penelitian ini menggunakan cara Conjugate Beam. Sebelum mendapatkan nilai lendutan, maka terlebih dahulu harus mengetahui nilai momen disetiap titik bentang balok dan mencari nilai Q, dimana nilai Q adalah luas dari daerah momen pada balok. Untuk lebih jelasnya mengenai perhitungan lendutan teoritis, dapat dilihat dibawah ini :

Diketahui :

Untuk Data Balok A1B2C2

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

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

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

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

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

$$w_c = 1873,5 \text{ kg/m}^3$$

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

$$f'c = 16,08 \text{ Mpa}$$

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

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

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

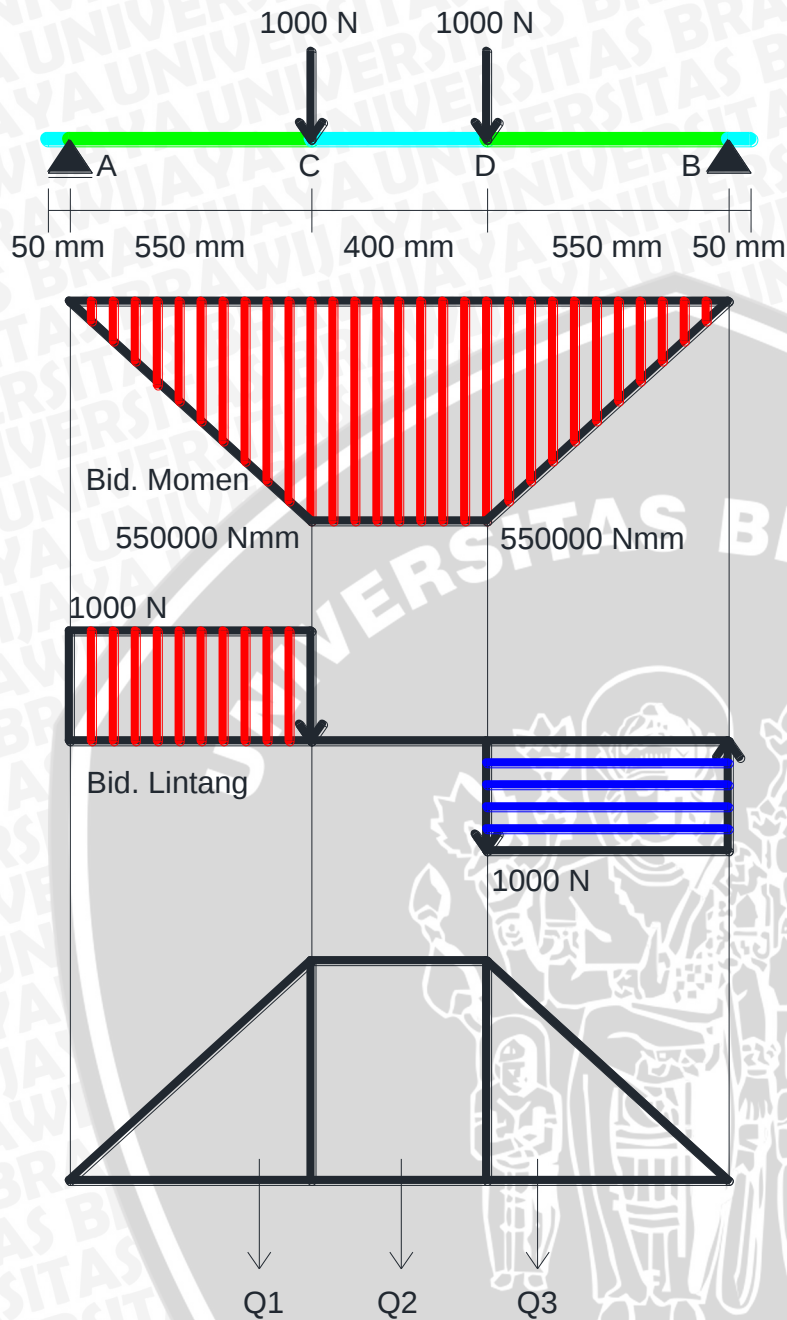
$$= 0,043 \times 1873,5^{1,5} \times \sqrt{16,08}$$

$$= 13983,138 \text{ N/mm}^2$$

$$EI = E_c \times I_x$$

$$= 13983,138 \times 100000000$$

$$= 1398313823515,31 \text{ Nmm}^2$$



Gambar 4.8 Conjugate beam

Didapatkan nilai momen pada tengah bentang dan nilai Q sebagai berikut

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

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

$$\Delta = \frac{126958333333,33 \text{ Nmm}^3}{1398313823515,31 \text{ Nmm}^2}$$

$$\Delta = 0,0907 \text{ mm}$$

Dari perhitungan lendutan di atas, didapatkan nilai lendutan balok A1B2C2 sebesar 0,0751 mm. Namun, untuk komposisi balok lainnya, perhitungan lendutan dilampirkan pada halaman lampiran.

4.4.2 Lendutan Aktual

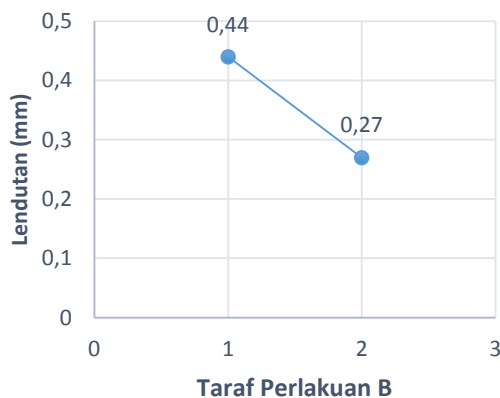
Nilai lendutan aktual didapat dari pengujian balok dengan membaca alat LVDT. Pembacaan nilai lendutan pada LVDT dimulai ketika balok sudah dibebani dan berakhir saat balok sudah mengalami runtuh. Tetapi, dalam membandingkan nilai lendutan aktual dengan

teoritis menggunakan nilai lendutan saat kondisi elastis, yaitu pada beban 200 kg. Untuk lebih jelasnya mengenai perbandingan nilai lendutan aktual dengan lendutan teoritis dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.15. *Perbandingan Nilai Lendutan Aktual dan Teoritis*

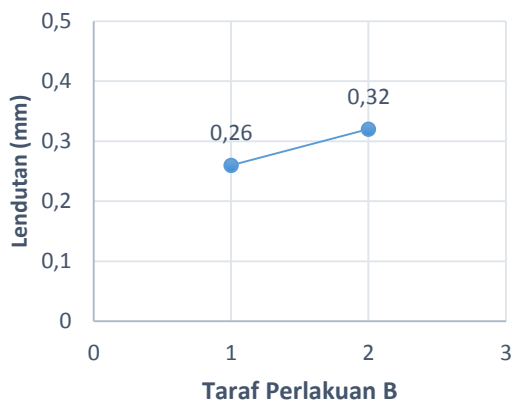
Benda Uji	No.	P Elastis (kg)	Lendutan (mm)			KR%
			Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	200	0,27	0,27	0,09	65,95
	2		0,19			
	3		0,34			
A2B2C1	1	200	0,31	0,32	0,08	73,29
	2		0,395			
	3		0,24			
A2B1C2	1	200	0,3	0,26	0,07	72,13
	2		0,265			
	3		0,215			
A1B1C1	1	200	0,45	0,44	0,07	83,12
	2		0,57			
	3		0,3			
BK 1	1	200	0,51	0,51	0,09	81,97
BK 2	1	200	0,27	0,27	0,07	75,61

Grafik Lendutan Aktual B1 dan B2 pada Taraf A1

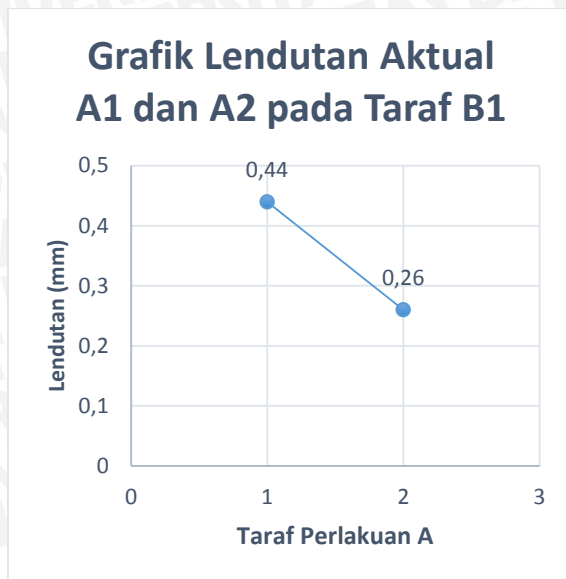


(a)

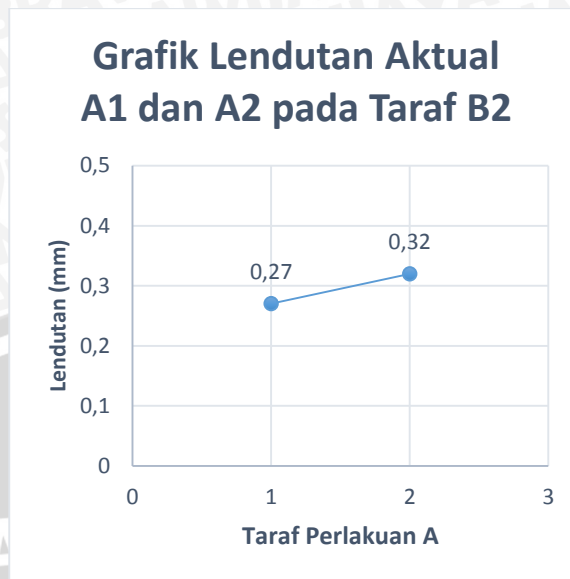
Grafik Lendutan Aktual B1 dan B2 pada Taraf A2



(b)



(c)



(d)

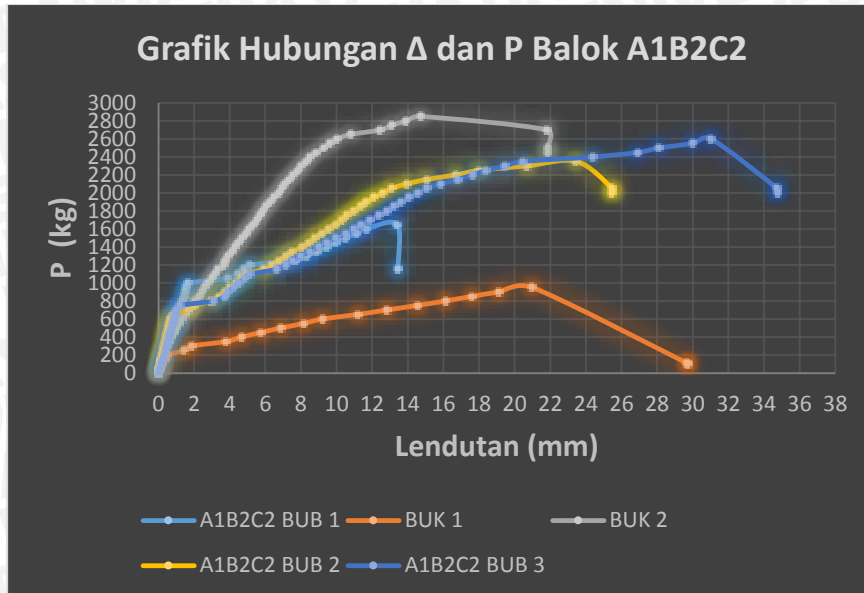
Gambar 4.9 (a) Grafik lendutan aktual B1 dan B2 pada taraf A1 (b) Grafik lendutan aktual B1 dan B2 pada taraf A2 (c) Grafik lendutan aktual A1 dan A2 pada taraf B1 (d) Grafik lendutan aktual A1 dan A2 pada taraf B2

Dari hasil perhitungan Tabel 4.15 terlihat bahwa perbedaan nilai lendutan aktual dengan teoritis sangat besar. Hal ini disebabkan oleh nilai modulus elastisitas (E) beton, dimana modulus elastisitas teoritis dibanding dengan modulus elastisitas aktual berbeda cukup jauh. Dan jika dilihat dari bahan penyusun betonnya, lekatan yang terjadi antara material-material penyusun beton kurang homogen sehingga menyebabkan modulus elastisitas teoritis dengan aktual berbeda. Selain itu, kepadatan beton dalam perhitungan teoritis dianggap sempurna. Sedangkan pada saat eksperimental kepadatan beton belum tentu menyeluruh semua atau masih ada rongga didalam beton. Tidak hanya itu saja, faktor lain dari penyebab keadaan ini ialah tegangan lekat yang terjadi pada tulangan bambu sangat kecil dan permukaan tulangan yang kurang kasar mengakibatkan lekatan beton dengan tulangan bambu menjadi berkurang, sehingga beban yang ditahan oleh balok menjadi lebih kecil yang akhirnya berujung pada nilai lendutan yang kecil.

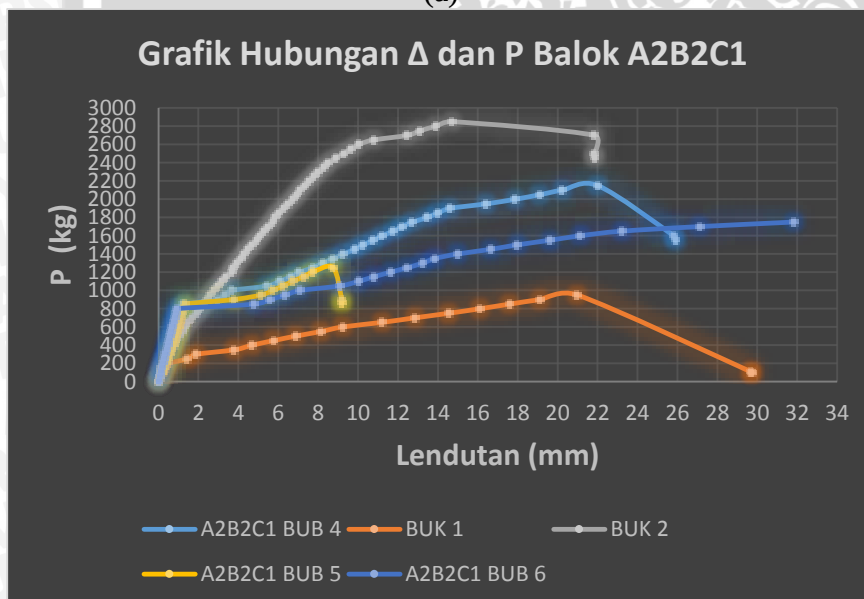
Dan untuk interaksi yang terjadi antara pengaruh A dan B pada lendutan, dapat dilihat dari Gambar 4.9 (a) dan (b) yang menunjukkan tren dari penambahan komposisi semen dan agregat pada taraf serat bambu tinggi dan rendah. Dan juga dari Gambar 4.9 (c) dan (d) yang menjelaskan tren penambahan serat bambu dengan komposisi semen dan agregat tinggi dan rendah. Tren yang dihasilkan membuktikan bahwa serat bambu dan komposisi semen dan agregat akan mempengaruhi nilai lendutan yang dihasilkan.

4.5 Analisa Kekakuan Balok

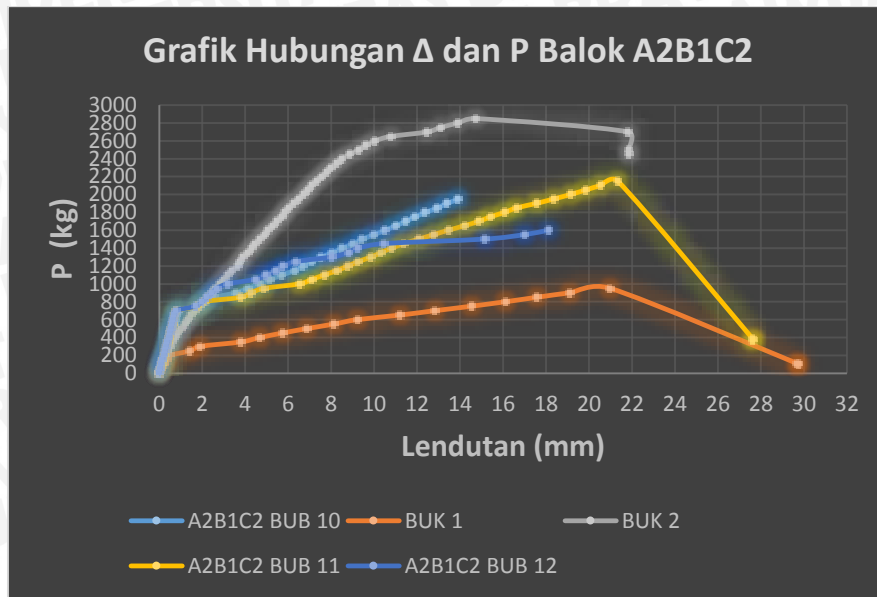
Kekakuan adalah hubungan yang terjadi pada suatu struktur antara beban dengan lendutan. Dalam hal ini, kekakuan dapat dilihat pada grafik ketika balok dalam kondisi elastis atau kemiringan garis pada saat praretak.



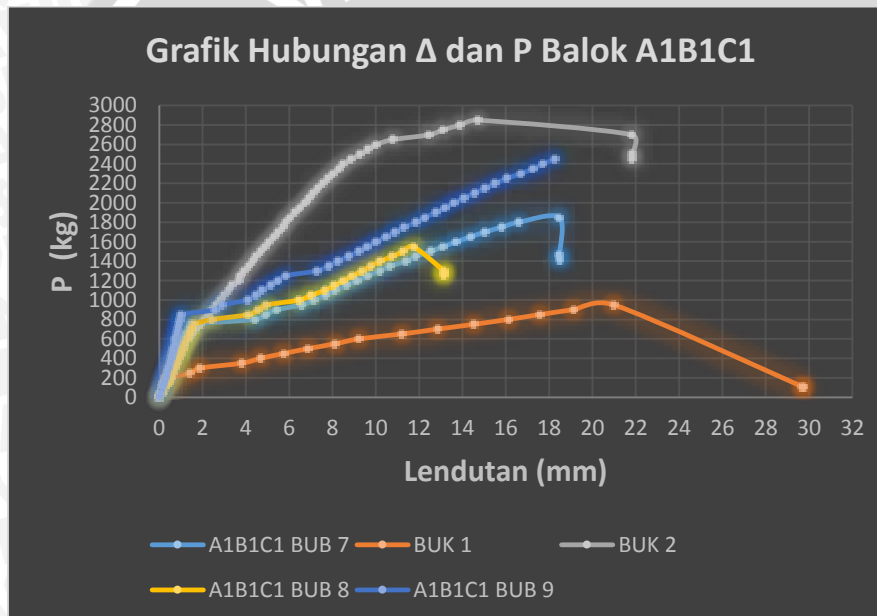
(a)



(b)

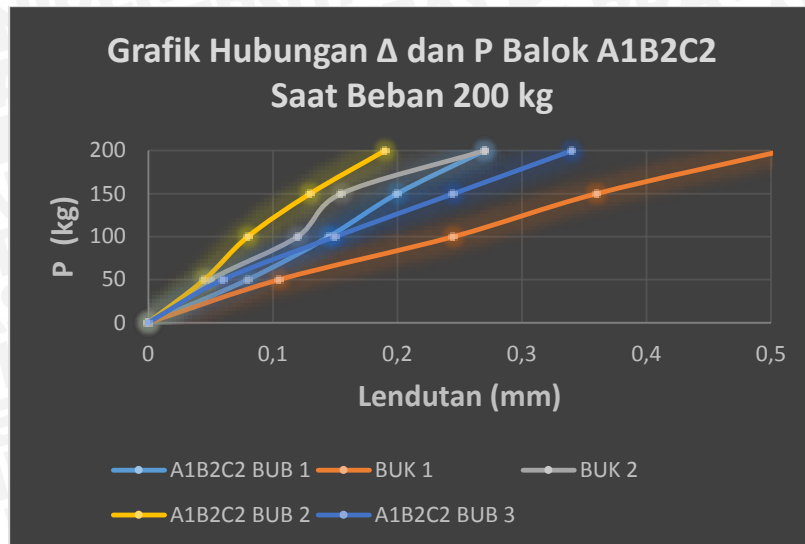


(c)

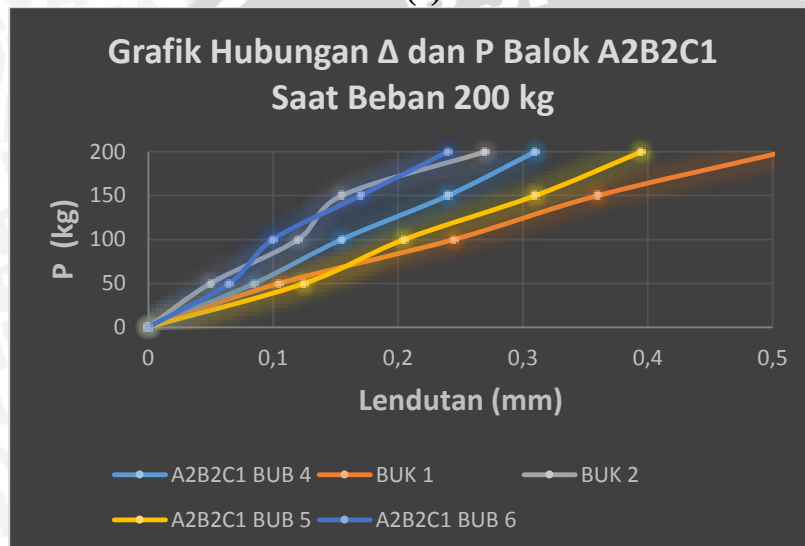


(d)

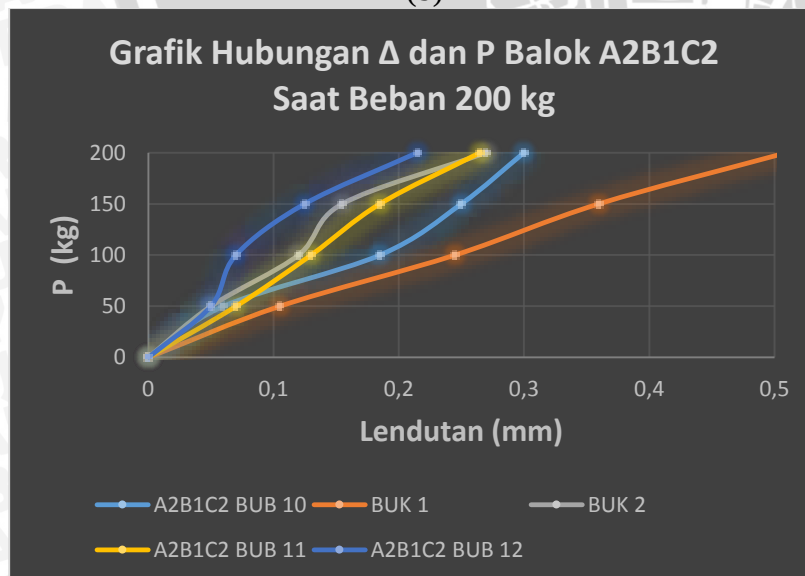
Gambar 4.10 (a) Grafik antara lendutan dengan beban balok A1B2C2 (b) Grafik antara lendutan dengan beban balok A2B2C1 (c) Grafik antara lendutan dengan beban balok A2B1C2 (d) Grafik antara lendutan dengan beban balok A1B1C1



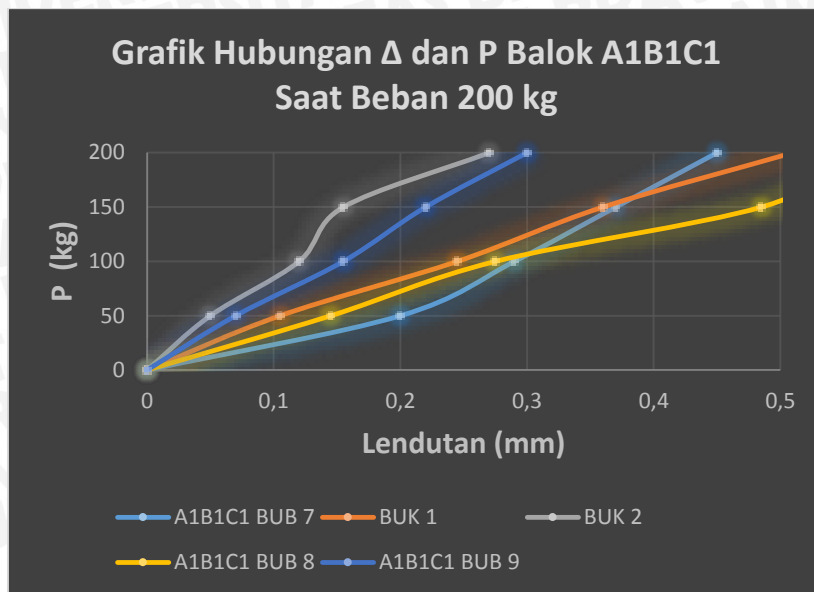
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.11 (a) Grafik antara lendutan dengan beban balok A1B2C2 saat beban 200 kg (b) Grafik antara lendutan dengan beban balok A2B2C1 saat beban 200 kg (c) Grafik antara lendutan dengan beban balok A2B1C2 saat beban 200 kg (d) Grafik antara lendutan dengan beban balok A1B1C1 saat beban 200 kg

Berdasarkan grafik hubungan lendutan dengan beban terlihat bahwa balok mengalami elastis penuh saat memasuki tahap praretak. Kekakuan balok ini dapat dihitung dengan membagi nilai beban kondisi elastis dengan nilai lendutan. Salah satu nilai kekakuan untuk balok dengan komposisi A1B2C2 adalah sebagai berikut :

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

$$k = \frac{200}{0,0751}$$

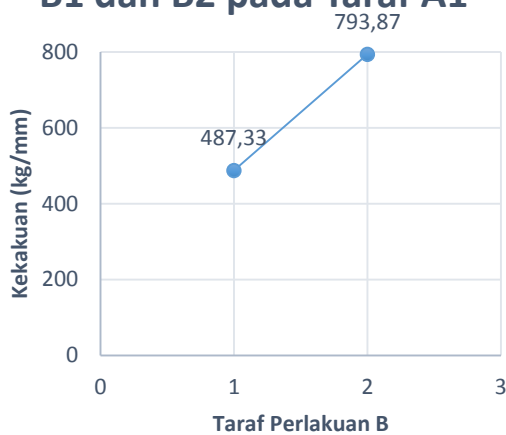
$$k = 2202,79 \text{ kg/mm}$$

Nilai kekakuan balok baik secara aktual dan teoritis dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16. Hasil Kekakuan Balok Secara Aktual dan Teoritis

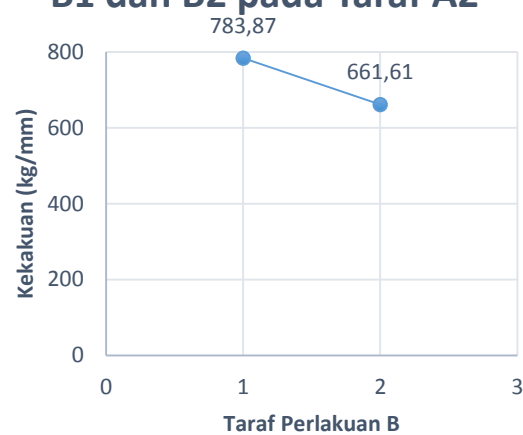
Benda Uji	No.	Kekakuan (Kg/mm)			KR%
		Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	740,74	793,87	2202,79	63,96
	2	1052,63			
	3	588,24			
A2B2C1	1	645,16	661,61	2377,22	72,17
	2	506,33			
	3	833,33			
A2B1C2	1	666,67	783,87	2760,21	71,60
	2	754,72			
	3	930,23			
A1B1C1	1	444,44	487,33	2692,68	81,90
	2	350,88			
	3	666,67			
BK 1	1	392,16	392,1569	2174,59	81,97
BK 2	1	740,74	740,7407	3036,70	75,61

**Grafik Kekakuan Aktual
B1 dan B2 pada Taraf A1**

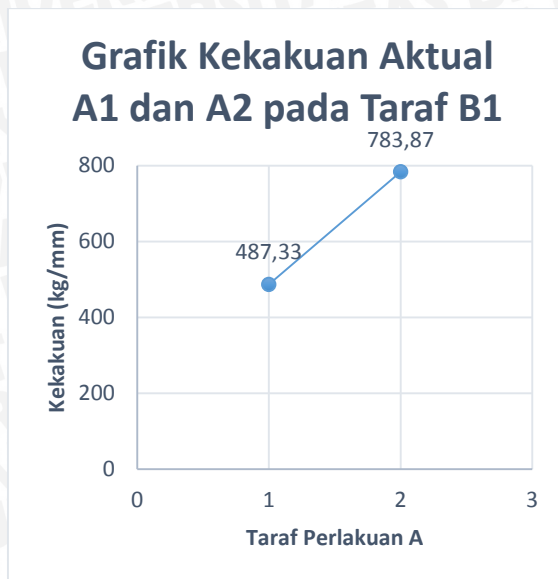


(a)

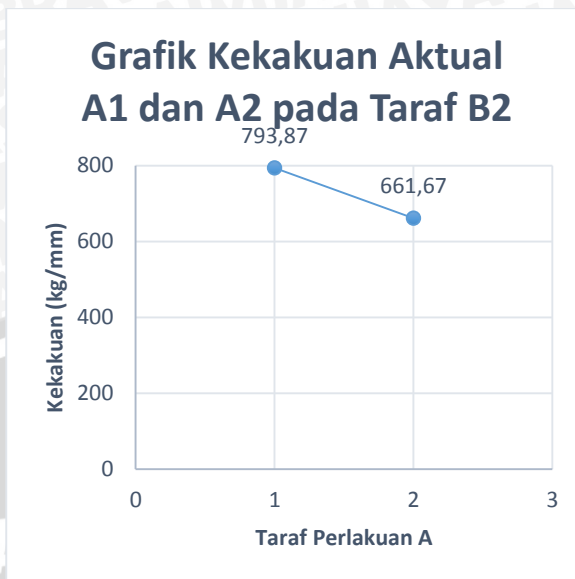
**Grafik Kekakuan Aktual
B1 dan B2 pada Taraf A2**



(b)



(c)

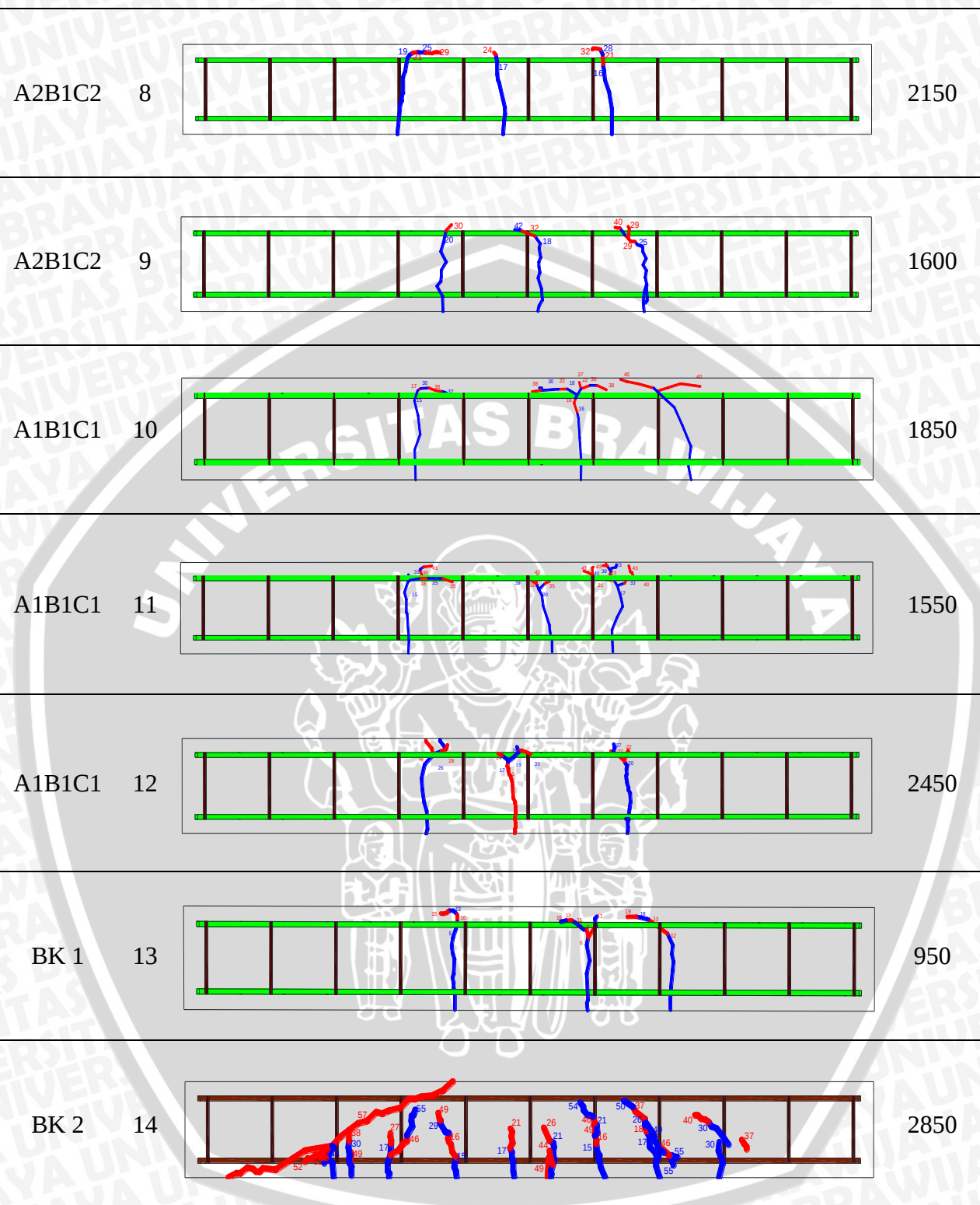


(d)

Gambar 4.12 (a) Grafik kekakuan aktual B1 dan B2 pada taraf A1 (b) Grafik kekakuan aktual B1 dan B2 pada taraf A2 (c) Grafik kekakuan aktual A1 dan A2 pada taraf B1 (d) Grafik kekakuan aktual A1 dan A2 pada taraf B2

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kekakuan teoritis lebih besar dari nilai kekakuan aktual. Hal ini dikarenakan balok tersebut tersusun dari beton, tulangan bambu, besi, dan serat bambu dimana keseluruhan dari material tersebut tidak dapat menyatu dengan sempurna sehingga berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitasnya. Sedangkan dalam perhitungan teoritis, balok dianggap sebagai monolit walaupun tersusun atas material-material tersebut. Disisi lain, kesalahan relatif dari nilai lendutan cukup besar sehingga mempengaruhi nilai kekakuannya. Karena semakin besar nilai lendutan suatu balok maka semakin kecil nilai kekakuannya.

Dengan melihat hasil di atas, interaksi antara pengaruh A dan B pada kekakuan balok dapat dilihat dari Gambar 4.12 (a) dan (b) yang menunjukkan tren penambahan komposisi semen dan agregat pada taraf serat bambu tinggi dan rendah. Dan juga dari Gambar 4.12 (c) dan (d) yang menjelaskan tren penambahan serat bambu dengan komposisi semen dan agregat tinggi dan rendah. Kedua tren membuktikan bahwa pengaruh A dan B mempengaruhi nilai dari kekakuan balok. Hal ini karena pada nilai lendutan sendiri juga dipengaruhi oleh pengaruh A dan B sehingga nilai kekakuan juga terpengaruhi.

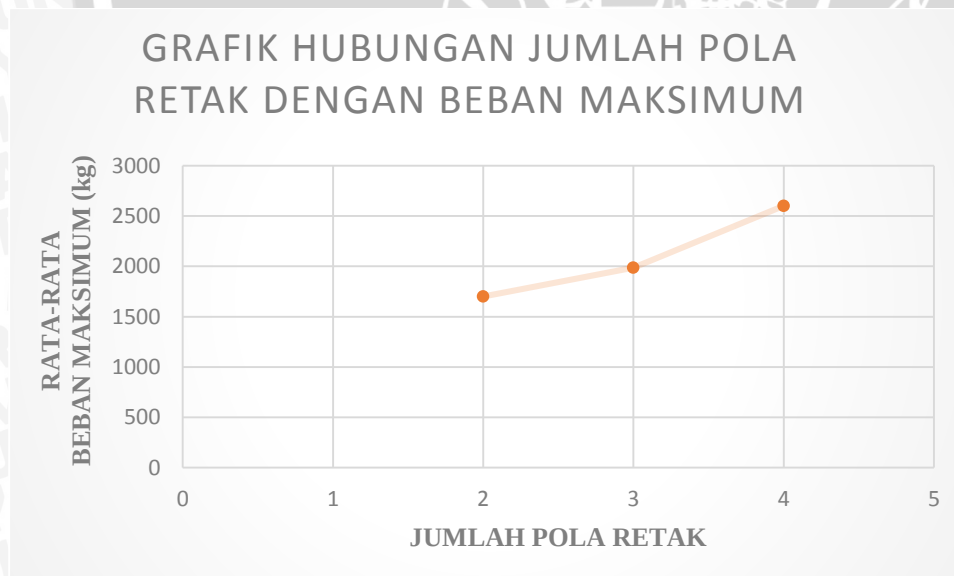


Berdasarkan Tabel 4.19 menunjukkan adanya korelasi antara pola retak dengan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Pada awal pengujian, dimana saat balok masih dalam keadaan elastis, belum terjadi retakan pada balok. Namun, saat balok memasuki keadaan plastis, retakan yang terjadi adalah retak lentur. Dan di akhir pengujian, retakan yang bermunculan adalah retak geser. Ini terjadi dikarenakan balok saat dibebani mengalami

reduksi pada luas penampangnya, sehingga terjadi banyak retakan pada balok. Selain itu, kekasaran pada permukaan tulangan bambu juga berpengaruh terhadap keruntuhan suatu balok. Dimana semakin kasar permukaan tulangan bambu, maka tegangan lekatan bambu juga semakin tinggi dan ini akan mempengaruhi terhadap banyaknya penyebaran retak pada balok serta berpengaruh terhadap besarnya beban yang ditahan oleh balok. Begitupun sebaliknya, jika permukaan tulangan bambu itu halus, maka tegangan lekatan bambu juga semakin kecil dan pola retak yang terjadi juga sedikit sehingga beban yang ditahan oleh balokpun juga semakin kecil.

Tabel 4.18. Hubungan Jumlah Pola Retak dengan Beban Maksimum Balok

	Jumlah Pola Retak		
	2	3	4
Beban Maksimum (kg)	1650	2350	2600
	2150	1950	
	1250	2150	
	1750	1600	
		1850	
		1550	
		2450	
Jumlah (kg)	6800	13903	2600
Rata-rata (kg)	1700	1986,14	2600



Gambar 4.13 Grafik hubungan jumlah pola retak dengan beban maksimum

Berdasarkan Tabel 4.18 dan Gambar 4.8, dengan berbagai macam pola retak yang terjadi dan berbedanya beban maksimum yang mampu ditahan oleh setiap balok, maka semakin banyak jumlah pola retak yang terjadi maka semakin besar pula beban yang dapat ditahan oleh balok.

4.7 Analisa Statistika

4.7.1 Interaksi antara Serat Bambu dengan Komposisi Semen dan Agregat Kasar Batu Apung terhadap Kuat Lentur

Suatu percobaan dapat dikatakan berhasil atau tidak apabila hipotesa yang direncanakan sesuai dengan hasilnya. Pada penelitian ini, untuk mengetahui apakah terdapat interaksi yang signifikan atau tidak, maka diperlukan analisis statistika dengan menggunakan rancangan setengah faktorial. Tujuan dari penggunaan rancangan setengah faktorial adalah agar tetap diperoleh data yang diinginkan meskipun jumlah benda uji sedikit. Untuk lebih jelasnya mengenai perhitungan statistika rancangan setengah faktorial, dapat dilihat pada tahapan-tahapan berikut ini:

Hipotesis

a. $H_{0A} : \alpha_1 = \alpha_2 = 0$

H_{0A} : Tidak ada pengaruh serat bambu terhadap kuat lentur balok.

H_{1A} : Sekurang – kurangnya satu $\alpha_i \neq \text{nol}$

H_{1A} : Ada pengaruh serat bambu terhadap kuat lentur balok.

b. $H_{0B} : \beta_1 = \beta_2 = 0$

H_{0B} : Tidak ada pengaruh komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.

H_{1B} : Sekurang – kurangnya satu $\beta_i \neq \text{nol}$

H_{1B} : Ada pengaruh komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.

c. $H_{0AB} : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{13} = \dots = (\alpha\beta)_{bk} = 0$

H_{0AB} : Tidak ada pengaruh interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.

H_{1AB} : Sekurang – kurangnya satu $(\alpha\beta)_{bk} \neq \text{nol}$

H_{1AB} : Ada pengaruh interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.

Tabel 4.19. Rancangan Setengah Faktorial Beban Maksimum

	A1		A2	
	B1	B2	B1	B2
C1	1850			2150
	1550			1250
	2450			1750
C2		1650	1950	
		2350	2150	
		2600	1600	
Jumlah (kg)	5850	6600	5700	5150
	23300			

Keterangan:

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

Jumlah Kuadrat Total

$$JK(T) = \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{k=1} y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{\text{jumlah benda uji}}$$

$$JK(T) = (1850)^2 + (1550)^2 + (2450)^2 + \dots + (1750)^2 - \frac{23300^2}{0,5 \times 8 \times 3}$$

$$JK(T) = 1824167$$

Kontras

$$\begin{aligned} \text{Kontras} - A &= (A_2B_1C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_1C_1 + A_1B_2C_2) \\ &= (5700 + 5150) - (5850 + 6600) \\ &= -1600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontras} - B &= (A_1B_2C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_1C_1 + A_2B_1C_2) \\ &= (6600 + 5150) - (5850 + 5700) \\ &= 200 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontras} - AB &= (A_1B_1C_1 + A_2B_2C_1) - (A_1B_2C_2 + A_2B_1C_2) \\ &= (5850 + 5150) - (6600 + 5700) \\ &= -1300 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Pengaruh

$$\begin{aligned} JK(A) &= \frac{(Kontras - A)^2}{2^2 n} \\ &= \frac{(-1600)^2}{2^2 3} \\ &= 213333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JK(B) &= \frac{(Kontras - B)^2}{2^2 n} \\ &= \frac{(400)^2}{2^2 3} \\ &= 3333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JK(AB) &= \frac{(Kontras - AB)^2}{2^2 n} \\ &= \frac{(-1300)^2}{2^2 3} \\ &= 140833,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JK(G) &= JK(T) - JK(A) - JK(B) - JK(AB) \\ &= 1824167 - 213333 - 3333 - 140833,33 \\ &= 1466667 \end{aligned}$$

Derajat Bebas

- a. Derajat Bebas Pengaruh A (DB (A))

DB (A) = A - 1, dimana A adalah jumlah taraf pengaruh A

Jadi, DB (A) = 2 - 1 = 1

- b. Derajat Bebas Pengaruh B (DB (B))

DB (B) = B - 1, dimana B adalah jumlah taraf pengaruh B

Jadi, DB (B) = 2 - 1 = 1

- c. Derajat Bebas Interaksi AB (DB (AB))

DB (AB) = (A - 1)(B - 1), dimana A & B adalah jumlah taraf pengaruh A & B

Jadi, DB (AB) = (2 - 1)(2 - 1) = 1

- d. Derajat Bebas Galat (DB (G))

DB (G) = AB (n - 1), dimana n adalah banyaknya pengulangan

Jadi, DB (G) = 2 x 2 x (3 - 1) = 8

- e. Derajat Bebas Total (DB (T))

DB (T) = 1/2 nABC - 1, dimana n adalah banyaknya pengulangan

Jadi, DB (T) = 0,5 x (3 x 2 x 2 x 2) - 1 = 11

Kuadrat Tengah

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

$$\begin{aligned} \text{KT (B)} &= \frac{JK (B)}{DB (B)} \\ &= \frac{3333}{1} \\ &= 3333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KT (AB)} &= \frac{JK (AB)}{DB (AB)} \\ &= \frac{140833}{1} \\ &= 140833 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KT (G)} &= \frac{JK (G)}{DB (G)} \\ &= \frac{1466667}{8} \\ &= 183333,33 \end{aligned}$$

F – hitung

$$\begin{aligned} \text{F – hitung (A)} &= \frac{KT (A)}{KT (G)} \\ &= \frac{213333}{183333,33} \\ &= 1,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F – hitung (B)} &= \frac{KT (B)}{KT (G)} \\ &= \frac{3333}{183333,33} \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{F – hitung (AB)} &= \frac{KT (AB)}{KT (G)} \\ &= \frac{140833}{183333,33} \\ &= 0,77 \end{aligned}$$

F – tabel dapat ditentukan dengan cara menarik kolom derajat pembilang (v_1) dan baris derajat penyebut (v_2) pada sebuah tabel Fisher dengan taraf nyata (α) yang sudah ditentukan.

Adapun derajat pembilang dan penyebut pada interaksi ini adalah sebagai berikut:

Pengaruh A : $v_1 = DB_A$ dan $v_2 = DB_e$

Pengaruh B : $v_1 = DB_B$ dan $v_2 = DB_e$

Pengaruh AB : $v_1 = DB_{AB}$ dan $v_2 = DB_e$

Tabel 4.20. Hasil ANOVA

Perilaku	JK	DB	KT	F - hitung	F - tabel	
					5%	10%
Serat Bambu (A)	213333,33	1	213333,33	1,16	5,32	3,46
Komposisi Semen dan Batu Apung (B)	3333,33	1	3333,33	0,02	5,32	3,46
Interaksi (AB)	140833,33	1	140833,33	0,77	5,32	3,46
Galat	1466666,67	8	183333,33			
Total	1824166,67	11				

Berdasarkan hasil perhitungan anova pada tabel 4.20, terlihat bahwa nilai F – hitung dari interaksi pengaruh A dan pengaruh B lebih kecil dari nilai F – tabel. Sehingga hipotesis awal yang menyatakan bahwa adanya pengaruh yang nyata dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu apung terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang bambu ditolak.

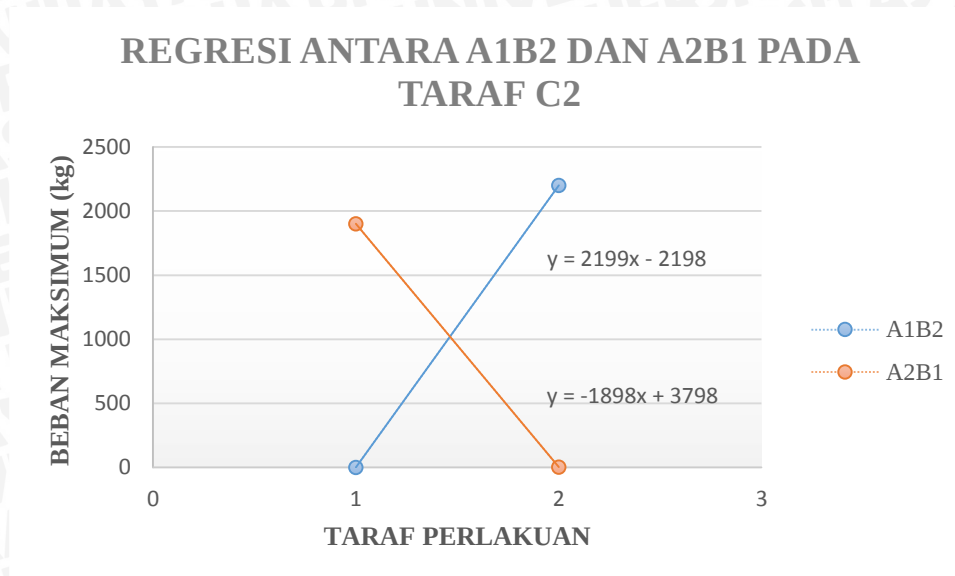
Jika melihat nilai F – hitung dari pengaruh serat bambu (A), hasilnya masih lebih kecil dari F – tabel baik dengan taraf nyata 5% maupun 10%. Namun nilai dari F – hitung pengaruh serat bambu masih tergolong besar sehingga bisa dikatakan pengaruhnya ada meskipun di bawah taraf nyata 10%. Sedangkan pada pengaruh komposisi semen dan batu apung (B), nilai F – hitungnya jauh lebih kecil dari pengaruh A, bahkan mendekati nilai 0,00 sehingga bisa dikatakan pengaruh B tidak signifikan. Lain halnya dengan interaksi, F-hitungnya masih lebih besar dari pengaruh B walaupun nilainya di bawah pengaruh A, tetapi jika dicari besarnya nilai taraf nyata maka diperoleh sebesar 40,635% atau bisa dikatakan tingkat kepercayaannya sebesar 59,365%.

Adapun faktor ketidakpastian dari pengaruh AB terhadap kuat lentur balok beton bertulang bambu adalah kurangnya lekatan antara beton dengan tulangan bambu. Hal ini dikarenakan tidak kasarnya permukaan tulangan bambu sehingga saat benda uji dilakukan pengujian beban vertikal maka yang terjadi adalah slip. Selain itu, tidak masuknya pengaruh benda uji kontrol ke dalam perhitungan anova, rentang mutu yang direncanakan terlalu dekat, dan interval kadar penambahan serat bambu juga terlalu jauh sehingga mempengaruhi nilai F – hitung.

4.7.2 Uji Regresi

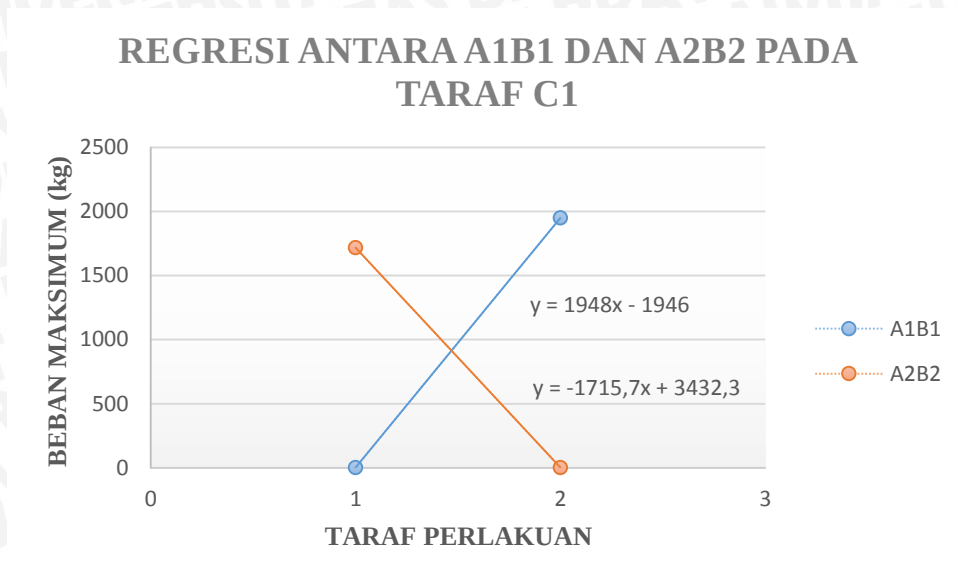
Selain menggunakan rancangan setengah faktorial varian dua arah dalam perhitungan statistika, suatu percobaan dapat diuji hipotesanya dengan cara regresi. Pada uji regresi ini, pengaruh interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan batu apung dapat dilihat trennya dengan membandingkan beban maksimum tiap komposisi dengan

tingkat tarafnya. Pengujian ini menghasilkan sebuah persamaan regresi dalam bentuk linier dan polinomial atau eksponensial. Sehingga dapat dipilih bentuk regresi terbaik untuk analisa percobaan ini.



Gambar 4.14 Hubungan regresi untuk interaksi A1B2 dan A2B1

Dari grafik regresi di atas, dengan mengacu pada pengaruh rasio tulangan tinggi, menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi pada balok dengan komposisi A1B2 (kadar serat bambu rendah dengan mutu beton rendah) dan A2B1 (kadar serat bambu tinggi dengan mutu beton tinggi) terhadap kuat lentur balok beton bertulang bambu dapat dikatakan ada. Hal ini dikarenakan, tren pada komposisi A1B2 mengalami peningkatan dan tren pada komposisi A2B1 mengalami penurunan sehingga jika tren dari kedua komposisi digabungkan terjadi persilangan. Persilangan inilah yang menentukan bahwa interaksi tersebut ada atau nyata. Dan jika melihat tren pada masing-masing grafik, terdapat persamaan linear disetiap komposisi. Persamaan ini menjelaskan mengenai rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok disetiap komposisinya.



Gambar 4.15 Hubungan regresi untuk interaksi A1B1 dan A2B2

Sama halnya dengan penjelasan sebelumnya, dengan mengacu pada rasio tulangan rendah, maka hasil regresi ini terlihat ada untuk interaksi A1B1 (kadar serat bambu rendah dengan mutu tinggi) dan A2B2 (kadar serat tinggi dengan mutu rendah). Hal ini dikarenakan terjadinya persilangan pada grafik dari tren kedua komposisi tersebut, sehingga interaksi pengaruh A dan pengaruh B dapat dikatakan ada. Untuk mengetahui rata-rata beban yang mampu ditahan oleh balok dari kedua komposisi tersebut, dapat dihitung dengan memasukkan nilai taraf perlakuan pada persamaan liner masing-masing komposisi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan mengenai balok beton ringan dengan komposisi A1 (kadar serat 40 gr/volume benda uji), A2 (kadar serat 150 gr/volume benda uji), B1 {komposisi semen dan agregat yaitu 1:2:1 (mutu tinggi)}, B2 {komposisi semen dan agregat yaitu 1:2,5:1,5 (mutu rendah)}, C1 (rasio tulangan bambu 1% dengan dimensi tulangan 1,5 cm x 1 cm) dan C2 (rasio tulangan bambu 1,5% dengan dimensi tulangan 2 cm x 1 cm), dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil eksperimental pada pengujian *pull-out*, nilai tegangan lekatan antara beton dengan tulangan bambu pada komposisi A1B2, A2B2, A2B1 dan A1B1 sebesar 0,173 Mpa, 0,117 Mpa, 0,150 Mpa, dan 0,185 Mpa. Tetapi, dari pengujian kuat tekan didapatkan nilai mutu beton sebesar 16,08 Mpa, 19,29 Mpa, 20,90 Mpa, dan 20,39 Mpa. Maka, kadar serat yang rendah baik pada komposisi rendah maupun tinggi menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. Sebaliknya pada kuat tekan, komposisi yang rendah baik untuk kadar serat rendah maupun tinggi dihasilkan kuat tekan beton yang tinggi.
2. Semakin besar kadar serat bambu, maka semakin kecil beban maksimum yang dapat ditahan balok. Namun, semakin besar nilai mutu beton dari perbandingan semen dan agregat, maka semakin besar pula beban maksimumnya. Sehingga, interaksi antara pengaruh serat bambu dan pengaruh komposisi untuk beban maksimum lebih dipengaruhi oleh serat bambu.
3. Nilai lendutan pada interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat dipengaruhi oleh kedua perlakuan tersebut. Sehingga dengan meningkatkan kadar atau nilai dari kedua perlakuan tersebut maka lendutan akan semakin kecil.

4. Dua perlakuan yang terdapat dalam interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat akan mempengaruhi nilai kekakuan balok. Hal ini ditunjukkan dari tren penambahan serat bambu dan penambahan komposisi. Sehingga dengan adanya kedua pengaruh tersebut menjadikan nilai kekakuannya semakin besar.
5. Dari hasil uji analisis rancangan setengah faktorial varian dua arah, untuk interaksi dari pengaruh serat bambu dan komposisi dihasilkan nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ dengan tingkat kepercayaannya sebesar 59,37%. Sehingga dapat dipastikan ada interaksi yang terjadi antara kedua pengaruh tersebut namun belum terlihat signifikan.

5.2 Saran

Di bawah ini adalah hal – hal yang perlu diperhatikan apabila akan mengadakan penelitian lebih lanjut mengenai balok dengan tambahan serat bambu dan komposisi semen dan agregat kasar batu apung bertulang bambu:

1. Dalam pengujian *pull-out*, kesiapan mengenai alat dan metode yang akan dilakukan harus dipersiapkan dengan baik agar didapatkan data yang lebih akurat. Karena hasil dari pengujian *pull-out* sangat berpengaruh terhadap nilai kuat lentur suatu balok.
2. Variasi untuk mutu beton didesain 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.
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pemasangan pasak pada tulangan bambu agar mekanisme slip yang terjadi dapat diketahui.
4. Perlakuan terhadap tulangan bambu seperti pemberian pasir pada permukaan tulangan bambu perlu diperhatikan. Mengingat lekatan antara tulangan bambu dengan beton sangat mempengaruhi balok dalam pengujian dan analisis teoritis.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Kapasitas Balok

➤ Untuk komposisi balok A2B2C1

Diketahui :

$$L = 1600 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

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

$$f_y = 0,117 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 2 \times [\{2 \times (10 + 15)\} \times 1540] = 154000 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

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

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

$$a = \frac{154000 \times 0,117}{0,85 \times 19,29 \times 150}$$

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

Letak garis netral :

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

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

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

Kapasitas nominal :

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

$$M_n = 154000 \times 0,117 \times \left(170 - \frac{7,306}{2}\right)$$

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

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

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

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

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

➤ Untuk komposisi balok A2B1C2

Diketahui :

$$L = 1600 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$f'c = 20,903 \text{ Mpa} \quad f_y = 0,150 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 2 \times [2 \times (20 + 10)] \times 1540 = 184800 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

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

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

$$a = \frac{184800 \times 0,150}{0,85 \times 20,903 \times 150}$$

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

Letak garis netral :

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

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

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

Kapasitas nominal :

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

$$M_n = 184800 \times 0,150 \times (170 - \frac{10,401}{2})$$

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

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

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

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

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

➤ Untuk komposisi balok A1B1C1

Diketahui :

$$L = 1600 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

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

$$f_y = 0,185 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 2 \times [2 \times (10 + 15)] \times 1540 = 154000 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

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

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

$$a = \frac{154000 \times 0,185}{0,85 \times 20,39 \times 150}$$

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

Letak garis netral :

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

$$c = \frac{10,984}{0,85} \quad c = 12,922 \text{ mm}$$

Kapasitas nominal :

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

$$M_n = 154000 \times 0,185 \times (170 - \frac{10,984}{2})$$

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

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

Sehingga Pmaks teoritis adalah :

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

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

➤ Untuk komposisi balok A0B2C1

Diketahui :

$$\begin{aligned} L &= 1600 \text{ mm} & d' &= 30 \text{ mm} \\ b &= 150 \text{ mm} & d &= 170 \text{ mm} \\ h &= 200 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\ f'c &= 14,933 \text{ Mpa} & f_y &= 0,130 \text{ Mpa} \\ A_s &= 2 \times \{2 \times (10 + 15)\} \times 1540 = 154000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$Cc = T$$

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

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

$$a = \frac{154000 \times 0,130}{0,85 \times 14,933 \times 150}$$

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

Letak garis netral :

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

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

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

Kapasitas nominal :

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

$$M_n = 154000 \times 0,130 \times (170 - \frac{10,532}{2})$$

$$M_n = 3303264,47 \text{ Nmm}$$

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

Sehingga P_{maks} teoritis adalah :

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

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

➤ Untuk komposisi balok beton normal

Diketahui :

$$L = 1600 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$f'_c = 16,808 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 339 \text{ mm}^2$$

Perhitungan keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

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

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

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

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

Letak garis netral :

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

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

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

Kapasitas nominal :

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

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

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

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

Sehingga P_{maks} teoritis adalah :

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

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

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

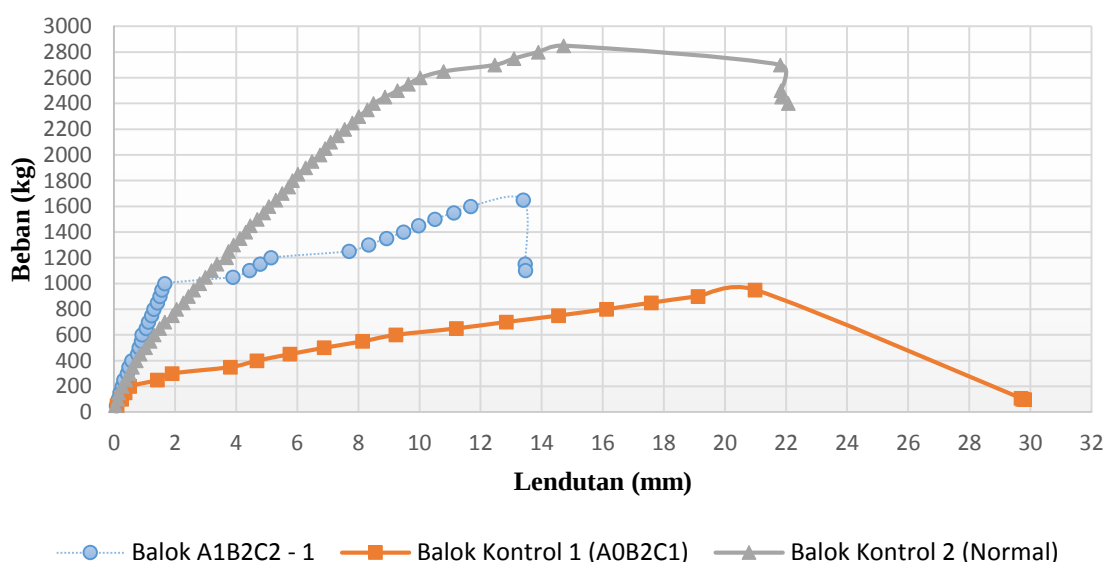
Mutu Beton = 16,081 Mpa

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

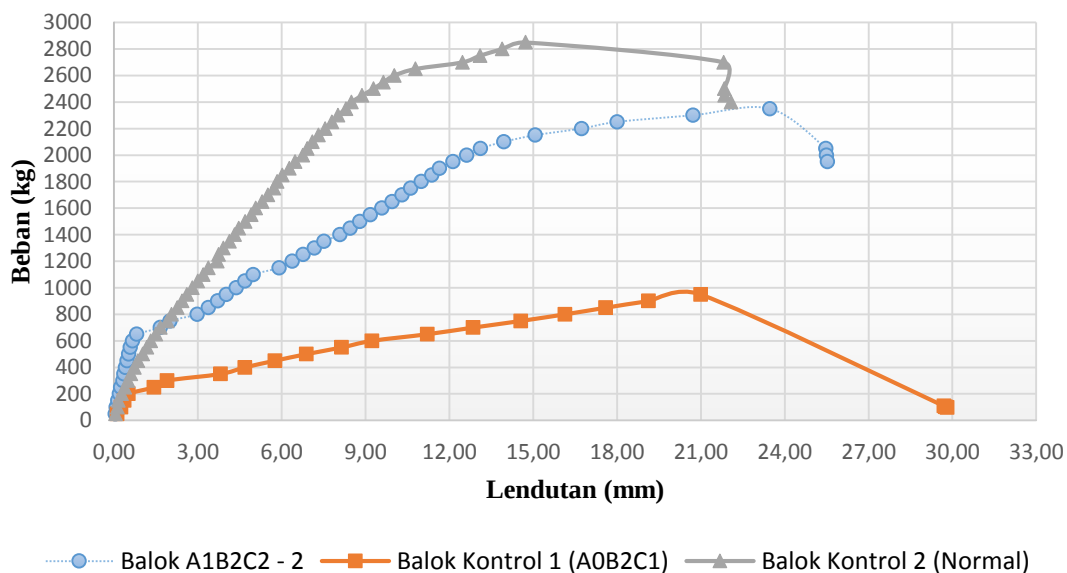
Mutu Beton = 16,081 Mpa

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

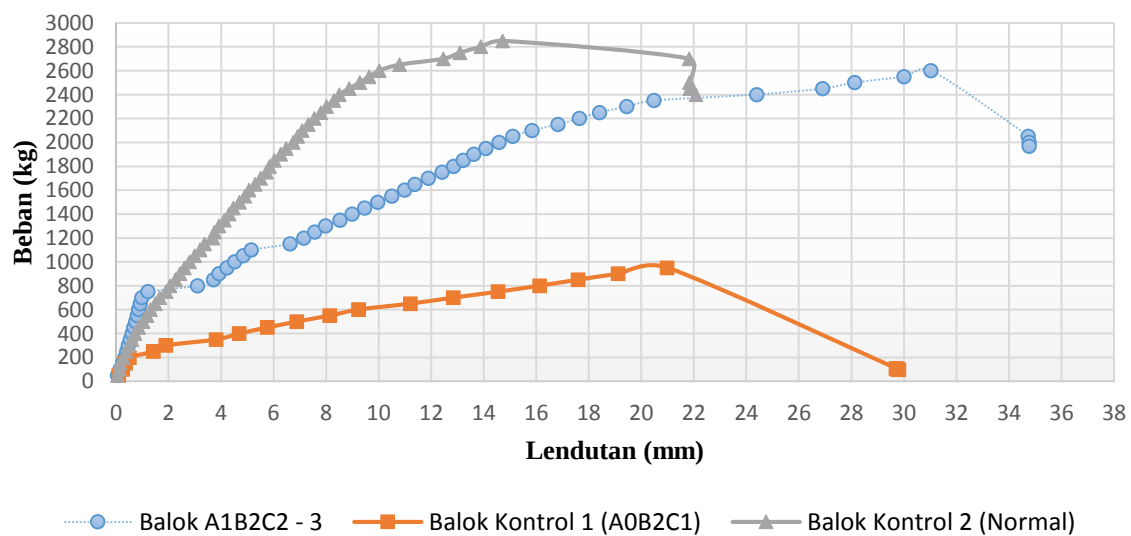
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

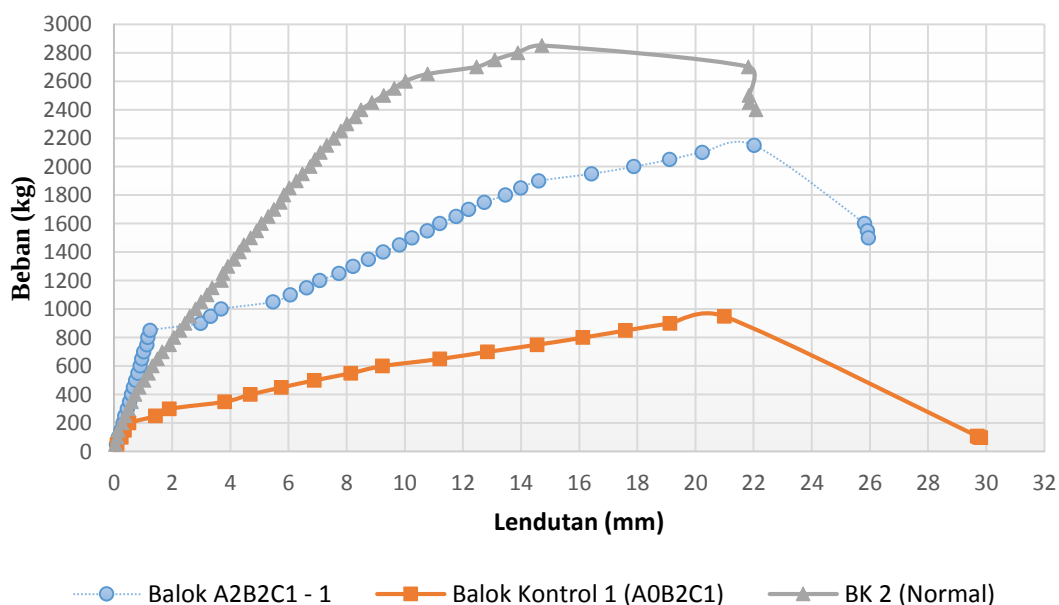
Mutu Beton = 19,286 Mpa

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

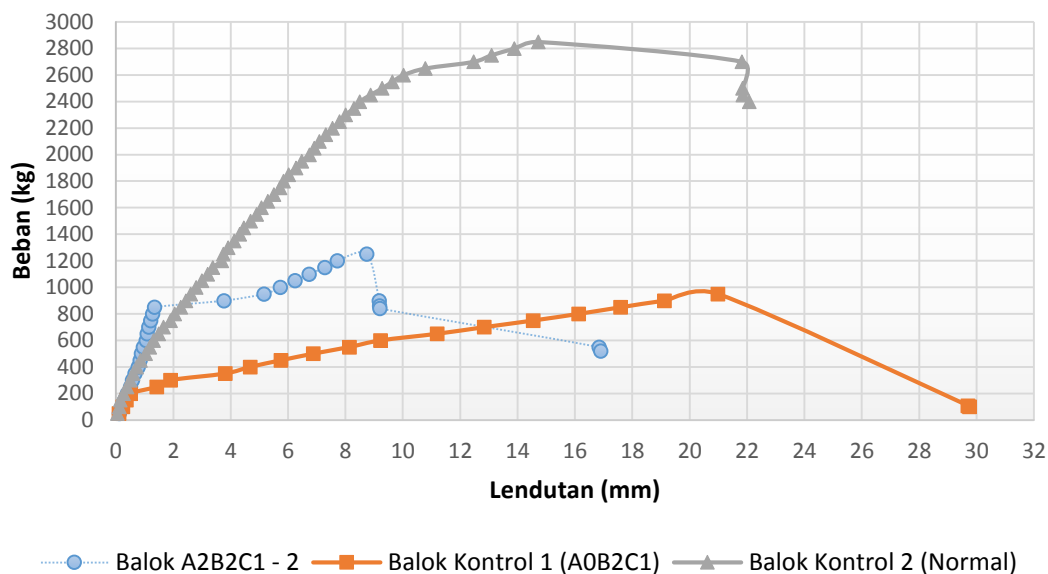
Mutu Beton = 19,286 Mpa

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**



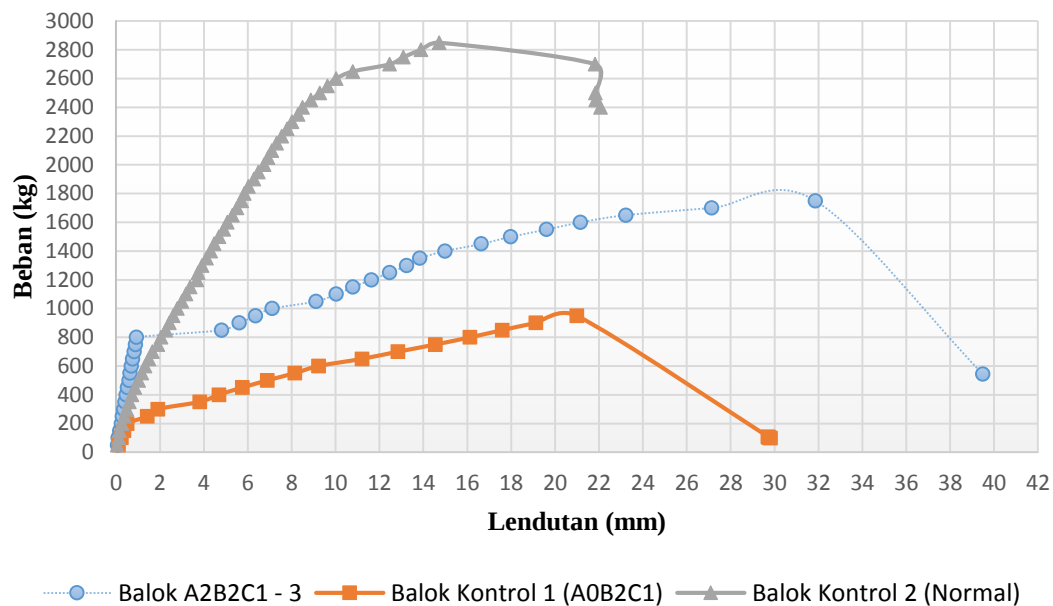
➤ **Balok A2B2C1 - 3**

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**



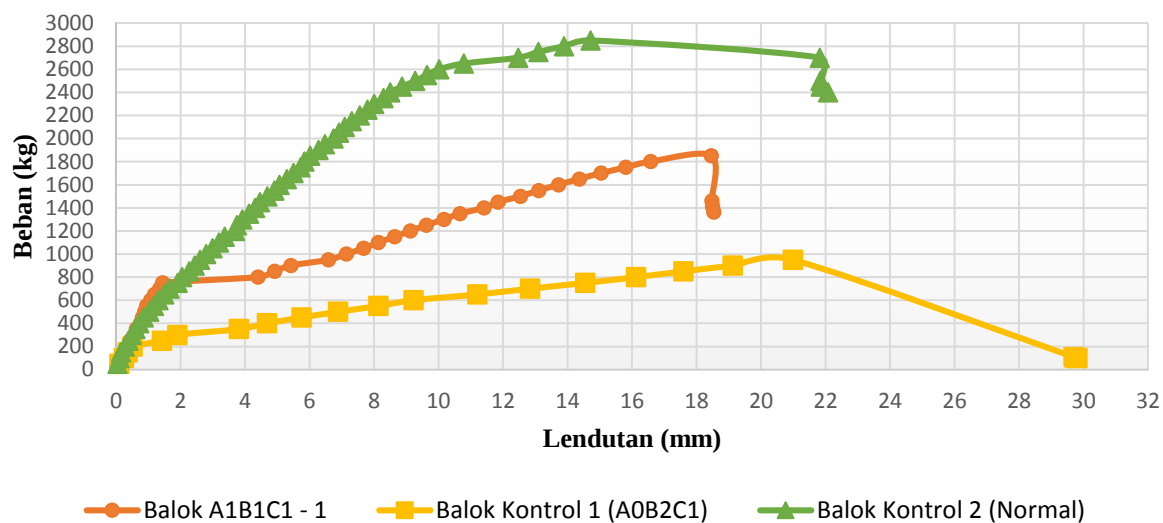
➤ **Balok A1B1C1 - 1**

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

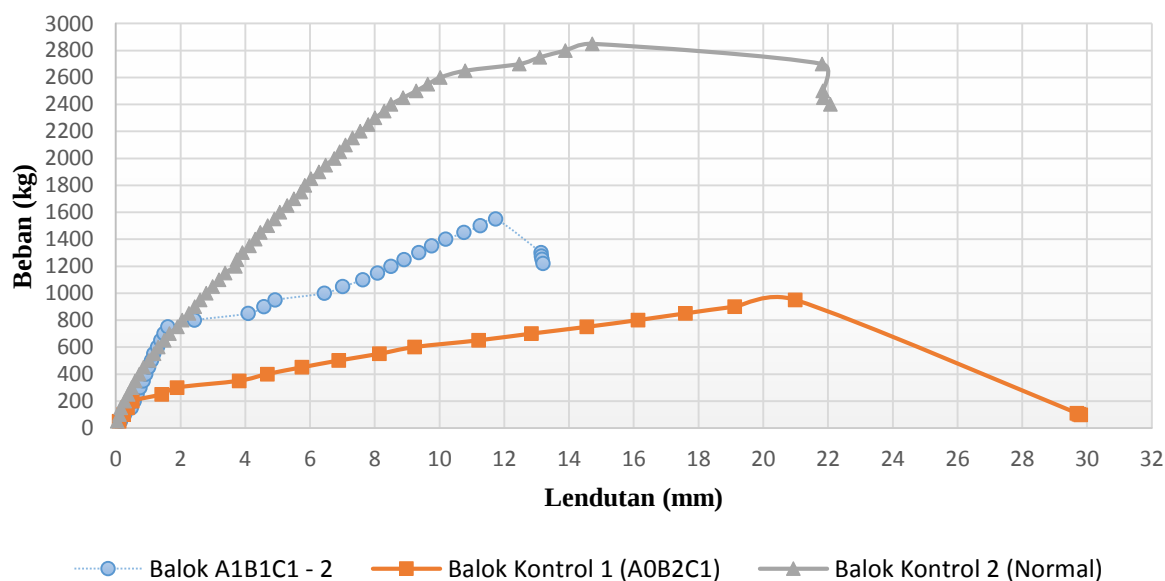
Mutu Beton = 20,390 Mpa

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

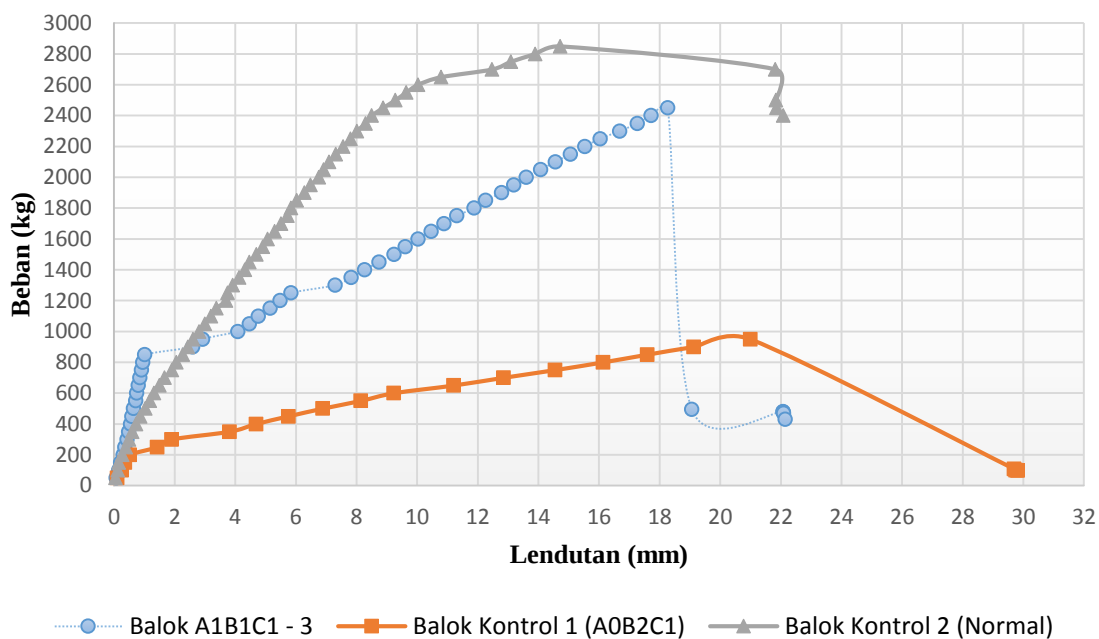
Mutu Beton = 20,390 Mpa

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



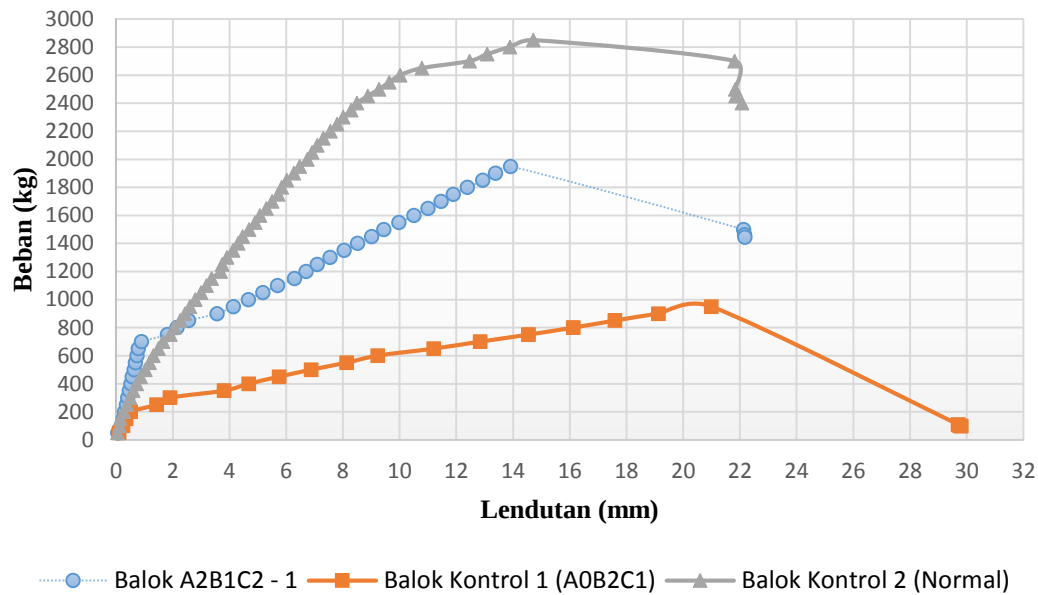
➤ Balok A2B1C2 - 1

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**



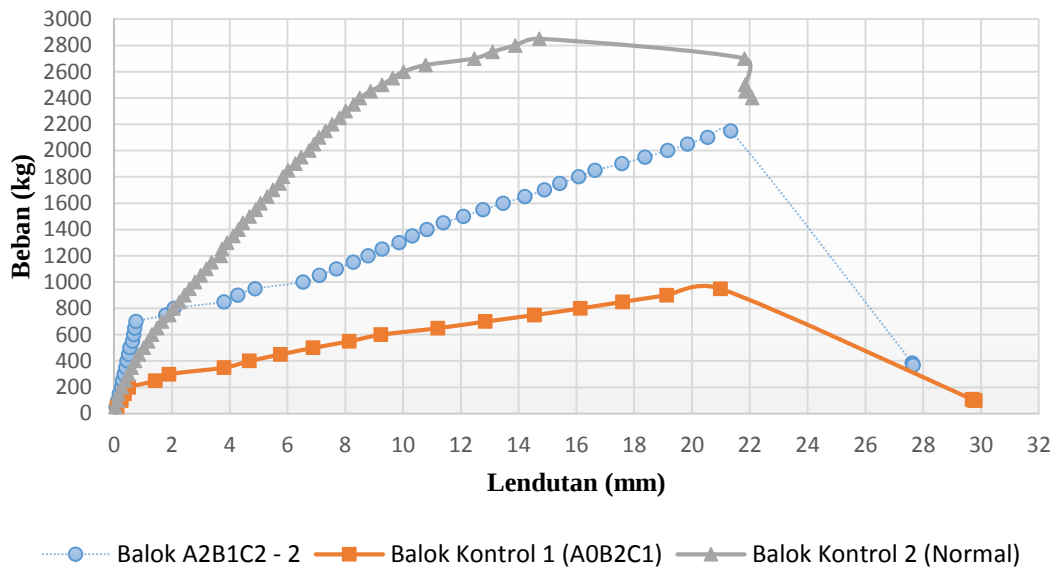
➤ **Balok A2B1C2 - 2**

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**



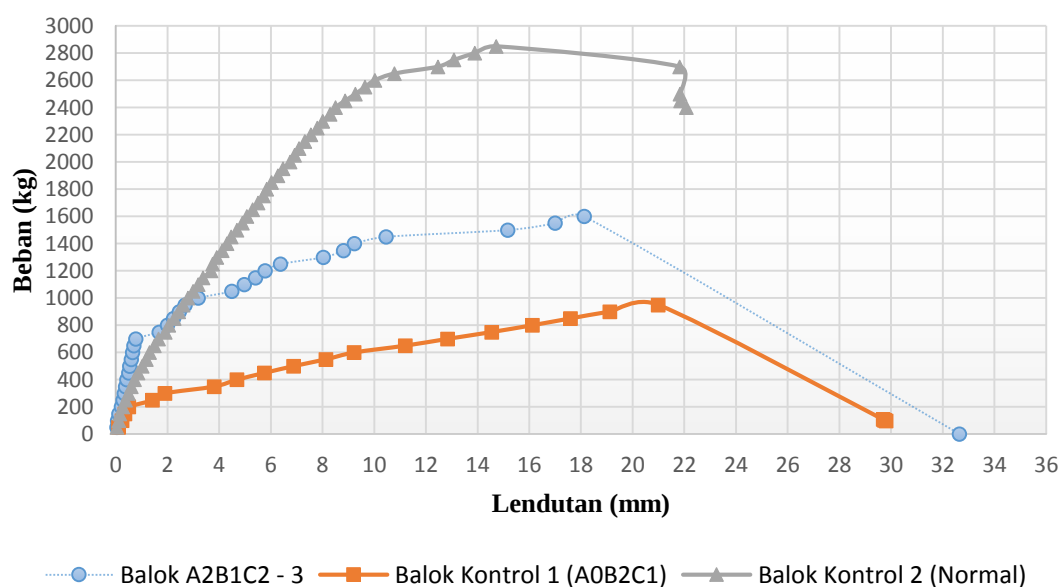
➤ **Balok A2B1C2 - 3**

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

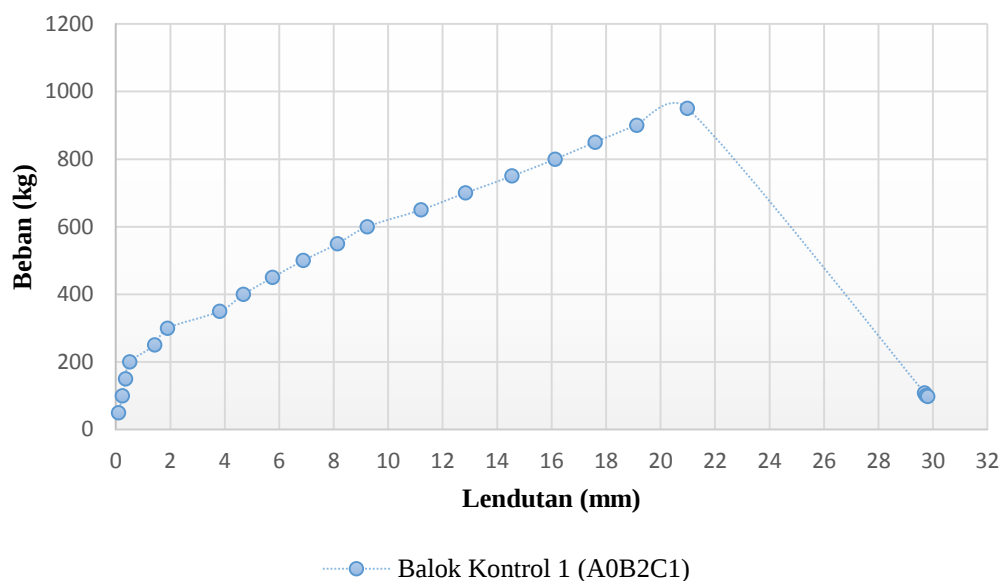
Umur Beton = 28 Hari

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)**

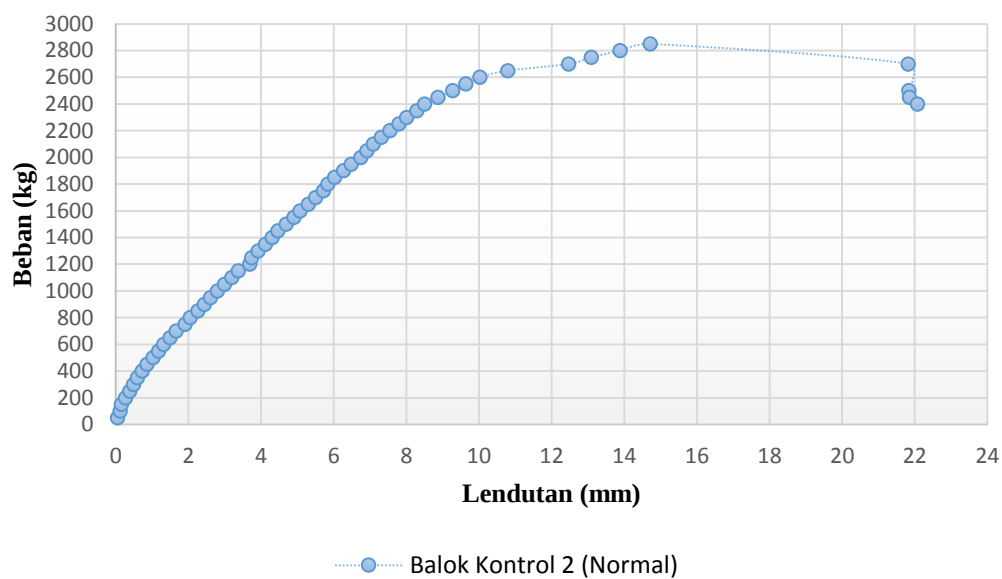
Nama Benda Uji = BK 2 (Normal)
 Tanggal Pengecoran = 18 Mei 2016
 Tanggal Pengujian = 15 Juni 2016
 Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya
 Umur Beton = 28 Hari
 Mutu Beton = 16,808 Mpa

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

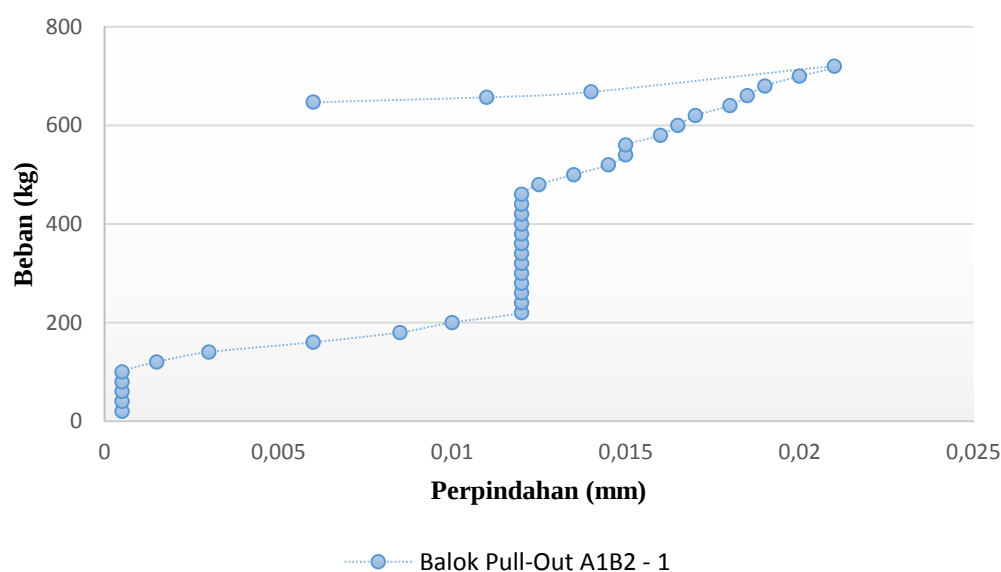
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

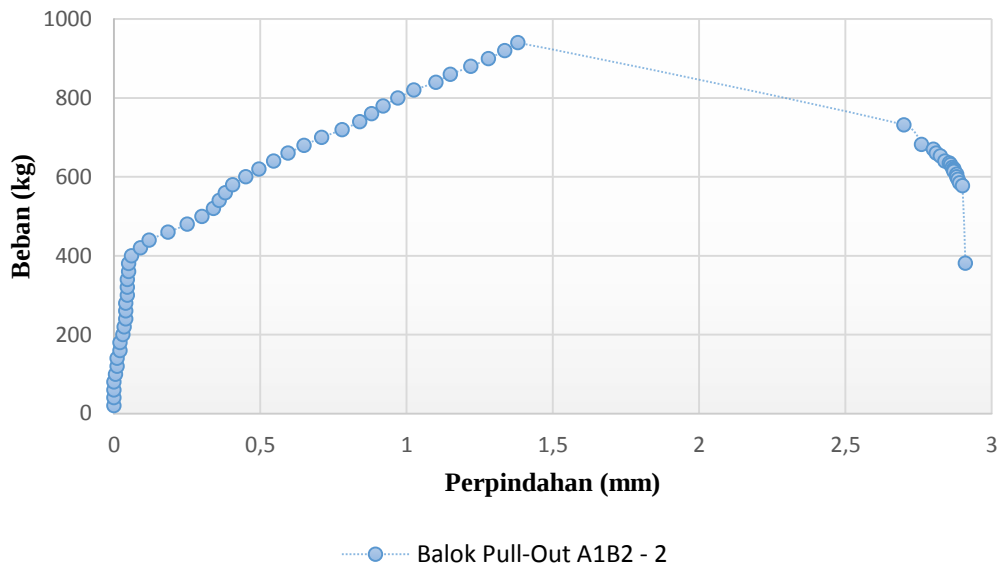
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

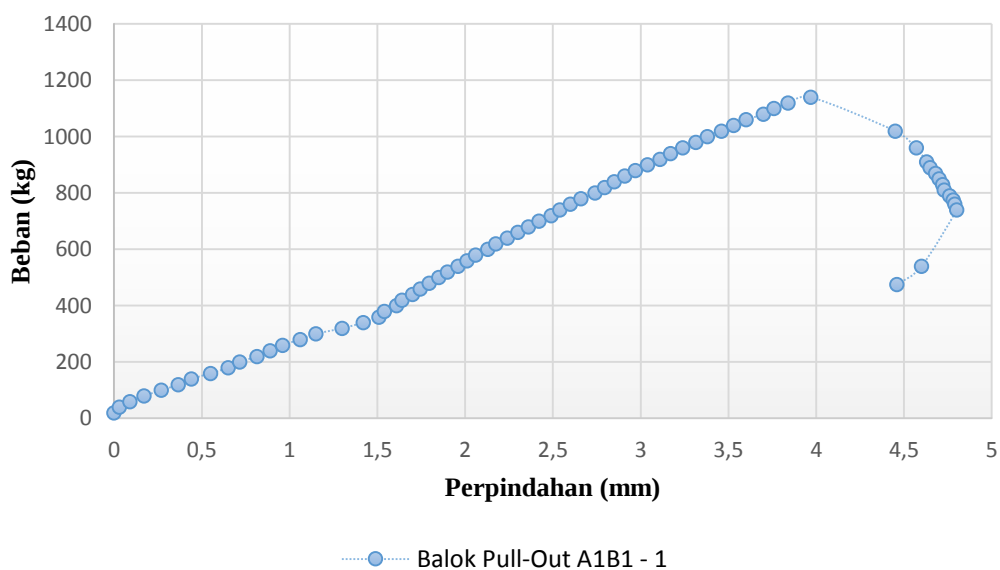
Umur Beton = 28 Hari

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

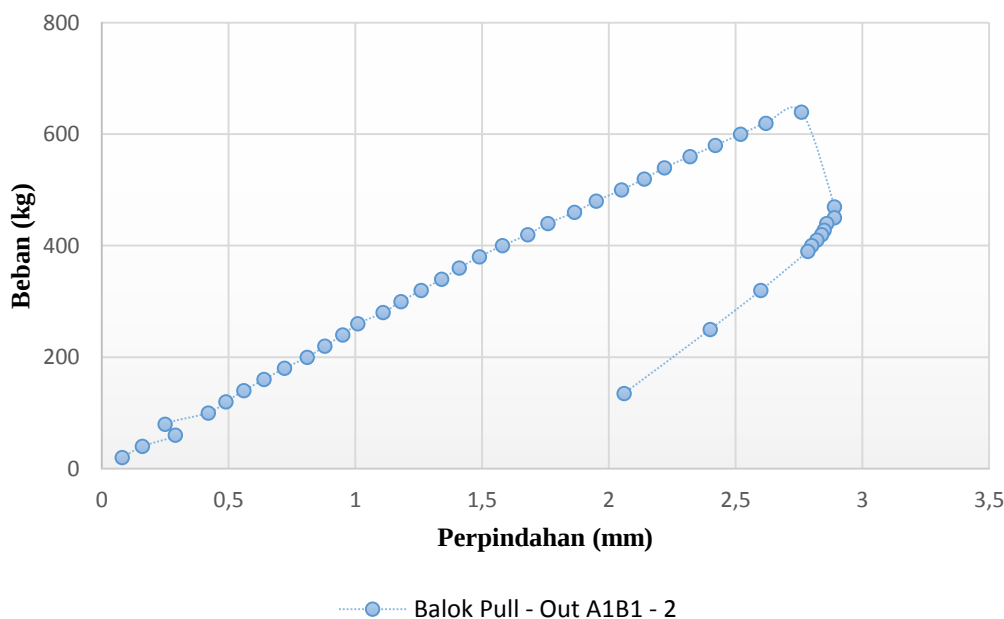
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

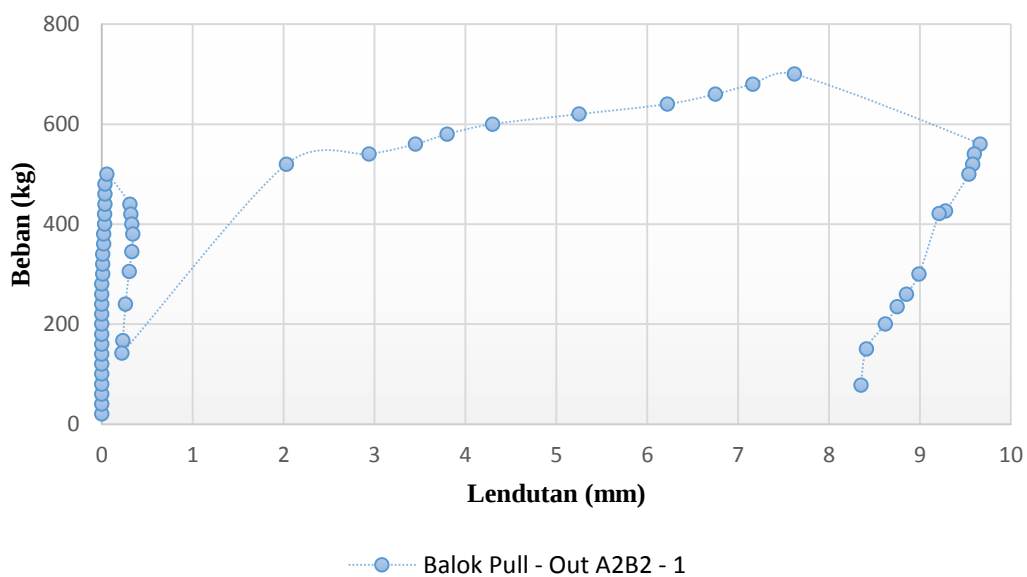
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

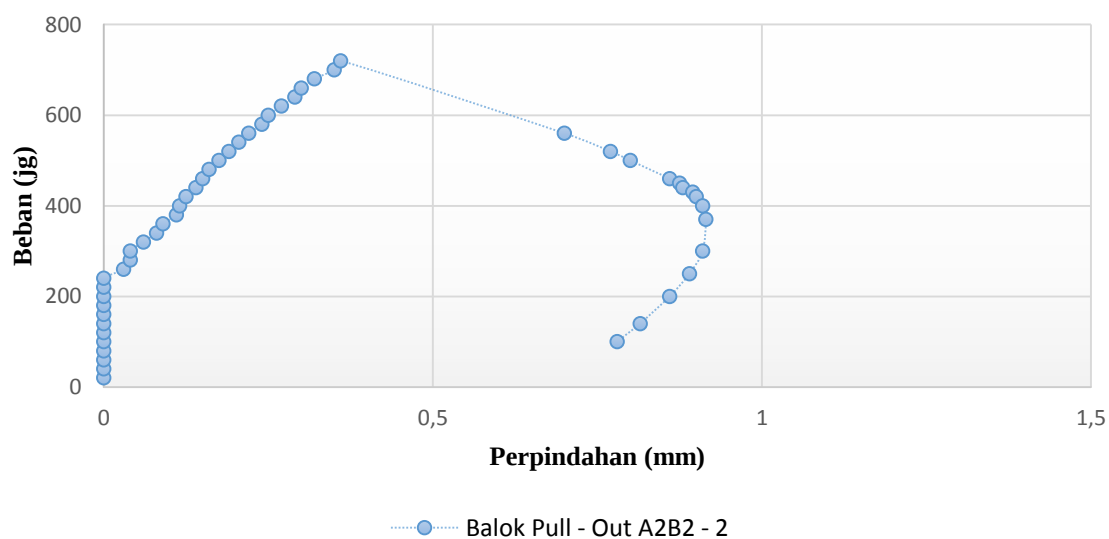
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Umur Beton = 28 Hari

No	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Perpindahan (mm)		Perpidahan 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

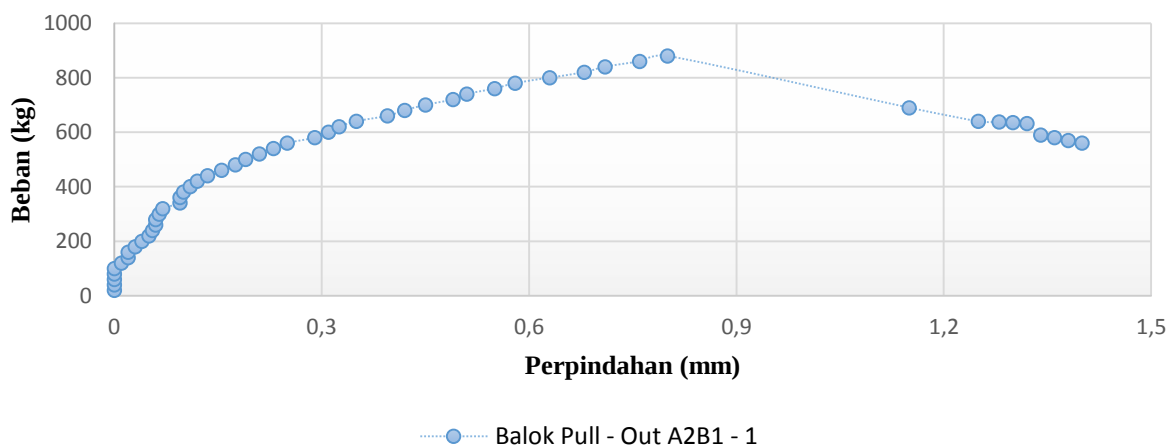
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

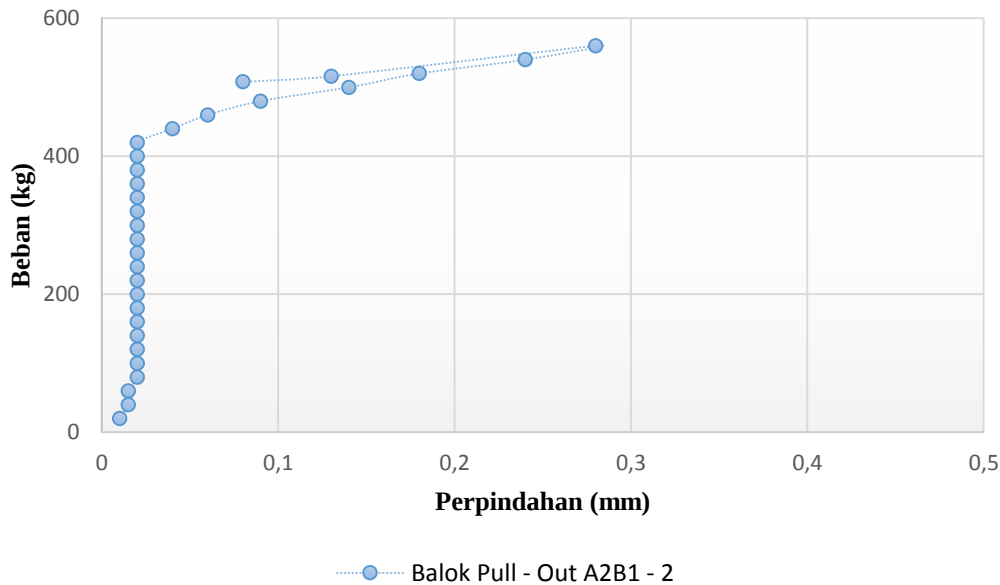
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

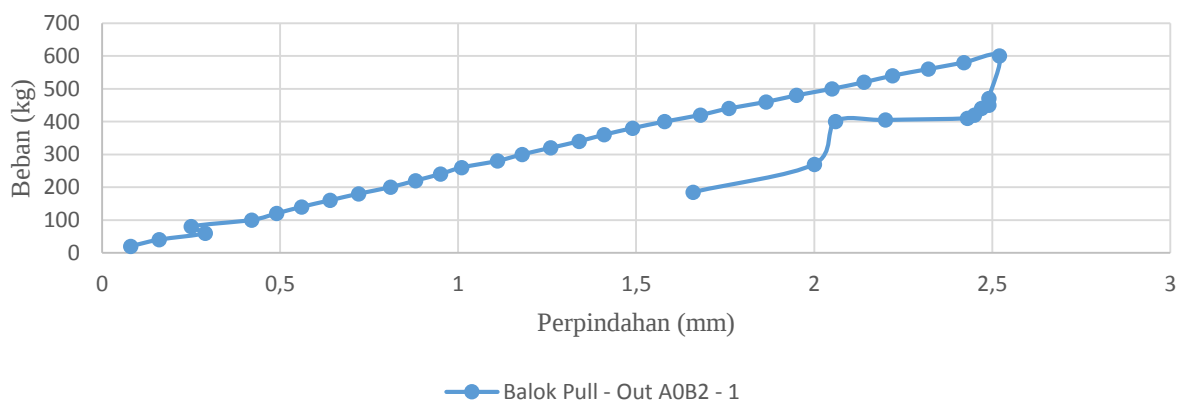
Tempat Pengujian = Lab. Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya

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

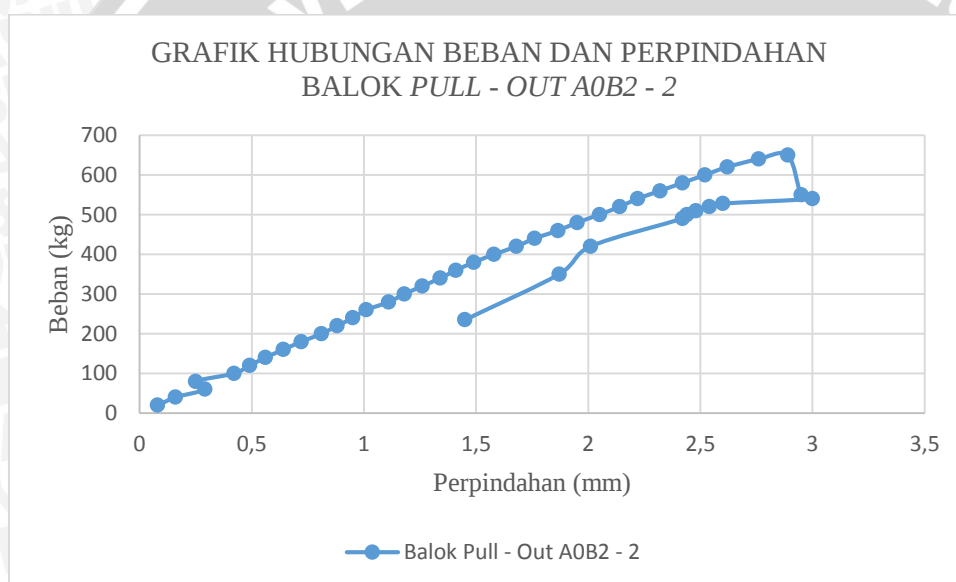
Tanggal Pengujian = 16 Juni 2016

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



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:

$$M = R_A \times a$$

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

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

$$= 550000 \text{ Nmm}$$

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= \frac{1}{2} \times a \times M \\
 &= \frac{1}{2} \times 550 \times 550000 \\
 &= 151250000 \text{ Nmm}^2 \\
 RA' &= \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{2} \\
 &= \frac{(151250000 + 220000000 + 151250000)}{2} \\
 &= 261250000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

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

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

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

Modulus Elastisitas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Modulus Elastisitas

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

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

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

$$EI = E_c \times I_x$$

$$= 17521,563 \times 100000000$$

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

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

$$M = R_A \times a$$

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

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

$$= 550000 \text{ Nmm}$$

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

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

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

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

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

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \frac{M_{konjugate}}{EI} \\
 \Delta &= \frac{126958333333,33 \text{ Nmm}^3}{1752156345977,38 \text{ Nmm}^2} \\
 \Delta &= 0,0725 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ Untuk Komposisi Balok Kontrol 1 A0B2C1

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 P &= 200 \text{ kg} = 2000 \text{ N} & d' &= 30 \text{ mm} \\
 L &= 1500 \text{ mm} & d &= 170 \text{ mm} \\
 b &= 150 \text{ mm} & w_c &= 1903,89 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

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

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

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

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:

$$M = R_A x a$$

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

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

$$= 550000 \text{ Nmm}$$

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

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

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

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

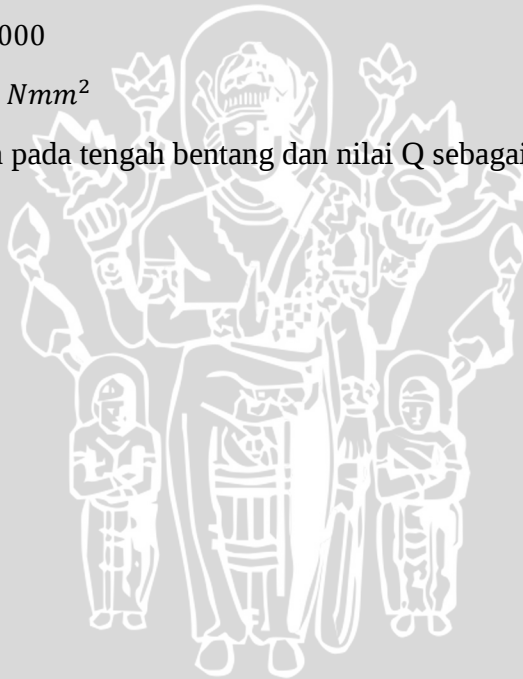
$$= (1500 - 2 x 550) x 550000$$

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

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

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

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



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

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

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 Kontrol 2 (Normal)

Diketahui :

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

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

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

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

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

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

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

$$w_c = 2287,12 \text{ kg/m}^3$$

$$f'_c = 16,8 \text{ Mpa}$$

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:

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

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

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

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

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

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

Sehingga lendutan di tengah bentang adalah :

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

$$\Delta = \frac{12695833333,33 \text{ Nmm}^3}{1927673010699,90 \text{ Nmm}^2}$$

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



Lampiran 5 Mix Design Balok Kontrol Beton Normal

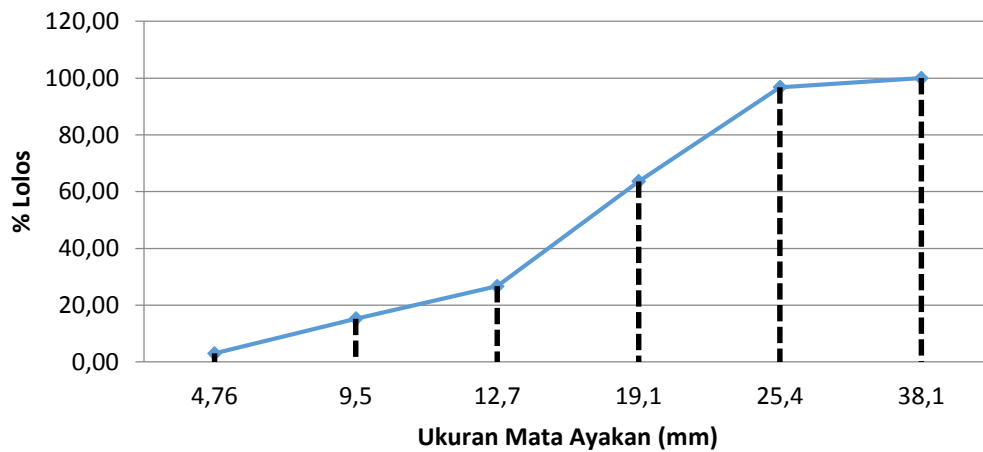
1. Analisa gradasi kasar

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	

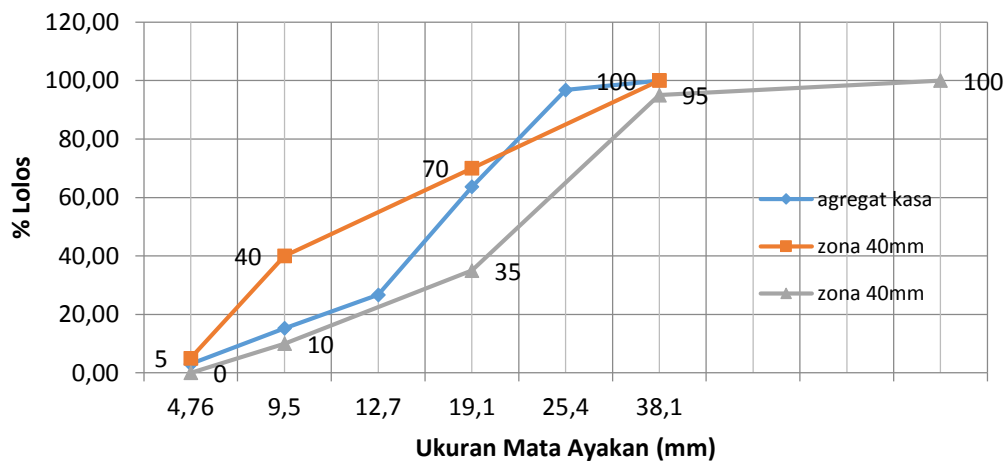
2. Analisa gradasi halus

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	

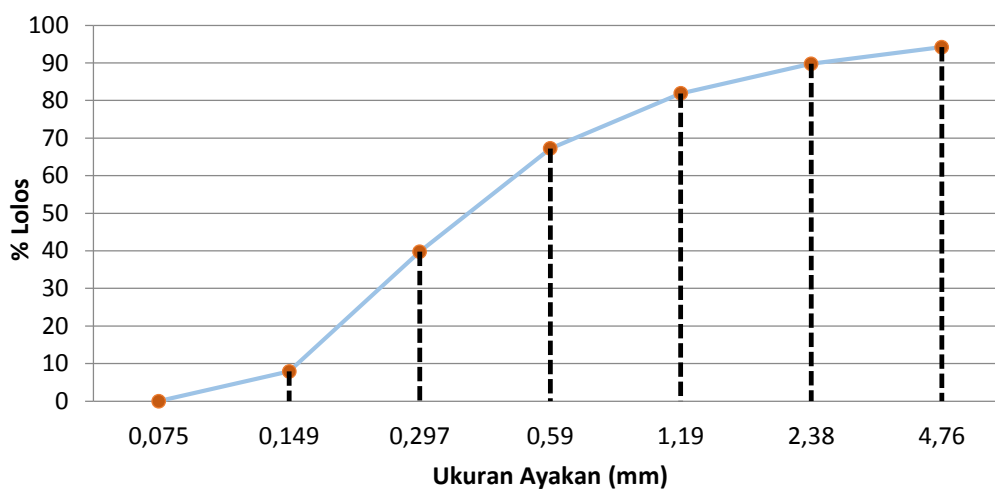
Grafik Lengkung Agregat Kasar



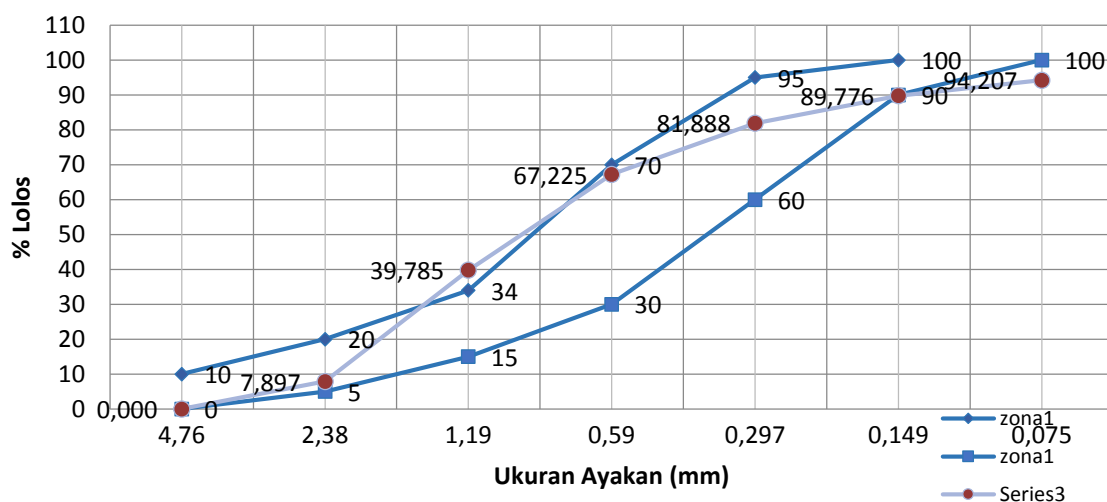
Grafik Lengkung Agregat Kasar Max 40mm



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)	$(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$		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)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$			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/ltr)	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 Hasil Uji Kuat Tekan

➤ Silinder A0B2C1

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)		(fci-fcm) ²
				kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²	
1	A0B2C1	176,7145868	0,0020372	278	27800	157,3		227,71554
2	A0B2C1	176,7145868	0,001841	327	32700	185,0		159,7211
3	A0B2C1	176,7145868	0,0018335	309	30900	174,9		6,0131134
Jumlah						517,2		393,44975
fc'm						172,4		
SD						14,02586		
f'c (kg/cm ²)						149,3335		
f'c (Mpa)						14,93335		

➤ Silinder Beton Normal

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)		(fci-fcm) ²
				kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²	
1	BK Normal	176,7145868	0,0022824	301	30100	170,3		2,8820248
2	BK Normal	176,7145868	0,0022918	307	30700	173,7		2,8820248
Jumlah						344,1		5,7640496
fc'm						172,0		
SD						2,400844		
f'c (kg/cm ²)						168,0794		
f'c (Mpa)						16,80794		

Lampiran 7 Hasil Berat Volume

➤ Balok Kontrol 1 A0B2C1

	Bahan	Berat Isi (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
BK 1	Bambu	1000	0,01	0,015	1,54	4	0,000924	0,924
	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)	93,32253
							Berat Volume (kg/m ³)	1944,219

➤ Balok Kontrol 2 (Normal)

	Bahan	Berat Isi (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
BK 1	Besi 12	1000	0,01	0,015	1,54	4	0,00123	1,232
	Beton	1903,9	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)	112,026
							Berat Volume (kg/m ³)	2333,87



Lampiran 8 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 9 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 Kontrol 1 A0B2C1



- Balok Kontrol Beton Normal



Lampiran 10. Gambar Hasil Pengujian *Pull-Out*

➤ Balok A1B2C2 – 1



➤ Balok A1B2C2 – 2



➤ Balok A2B2C2 – 3



➤ Balok A1B2C2 – 4



➤ Balok A1B2C2 – 5

