

**BERAT VOLUME DAN KEKAKUAN PLAT SATU ARAH PADA
PLAT BETON BERTULANGAN BAMBU DENGAN LAPIS
STYROFOAM**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

**CANDRA KURNIAWAN RAMADHANI
NIM. 115060100111049 - 61**

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN SIPIL

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

**BERAT VOLUME DAN KEKAKUAN PLAT SATU ARAH PADA
PLAT BETON BERTULANGAN BAMBU DENGAN LAPIS
STYROFOAM**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

CANDRA KURNIAWAN RAMADHANI

NIM. 115060100111049 - 61

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.
NIP. 19511211 1981 03 2001

Dr. Eng. Devi Nuralinah, ST., MT.
NIP. 19761208 200604 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**BERAT VOLUME DAN KEKAKUAN PLAT SATU ARAH PADA
PLAT BETON BERTULANGAN BAMBU DENGAN LAPIS
STYROFOAM**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

CANDRA KURNIAWAN RAMADHANI

NIM. 115060100111049 - 61

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal

Penguji

Penguji

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.
NIP. 19511211 1981 03 2001

Dr. Eng. Devi Nuralinah, ST., MT.
NIP. 19761208 200604 2 001

Penguji

Christin Remayanti N., ST., MT.
NIK. 201208 840325 2 001

Mengetahui
Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. Indradi W,ST M.Eng.(Prac)
NIP. 19810220 200604 1 002

**PERNYATAAN
ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Candra Kurniawan Ramadhani

NIM : 115060100111049

Judul Skripsi : **Berat Volume Dan Kekakuan Plat Satu Arah Pada Plat Beton Bertulangan Bambu Dengan Lapis Styrofoam**

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, di dalam naskah Skripsi ini 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 dikutip secara tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (Sarjana Teknik) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 20 Agustus 2015

Yang membuat pernyataan,

Candra Kurniawan Ramadhani

NIM : 115060100111049

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, atas rahmat, hidayah serta pertolongan Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dengan judul : **“Berat Volume Dan Kekakuan Plat Satu Arah Pada Plat Beton Bertulangan Bambu Dengan Lapis Styrofoam”**, sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu tak lupai penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

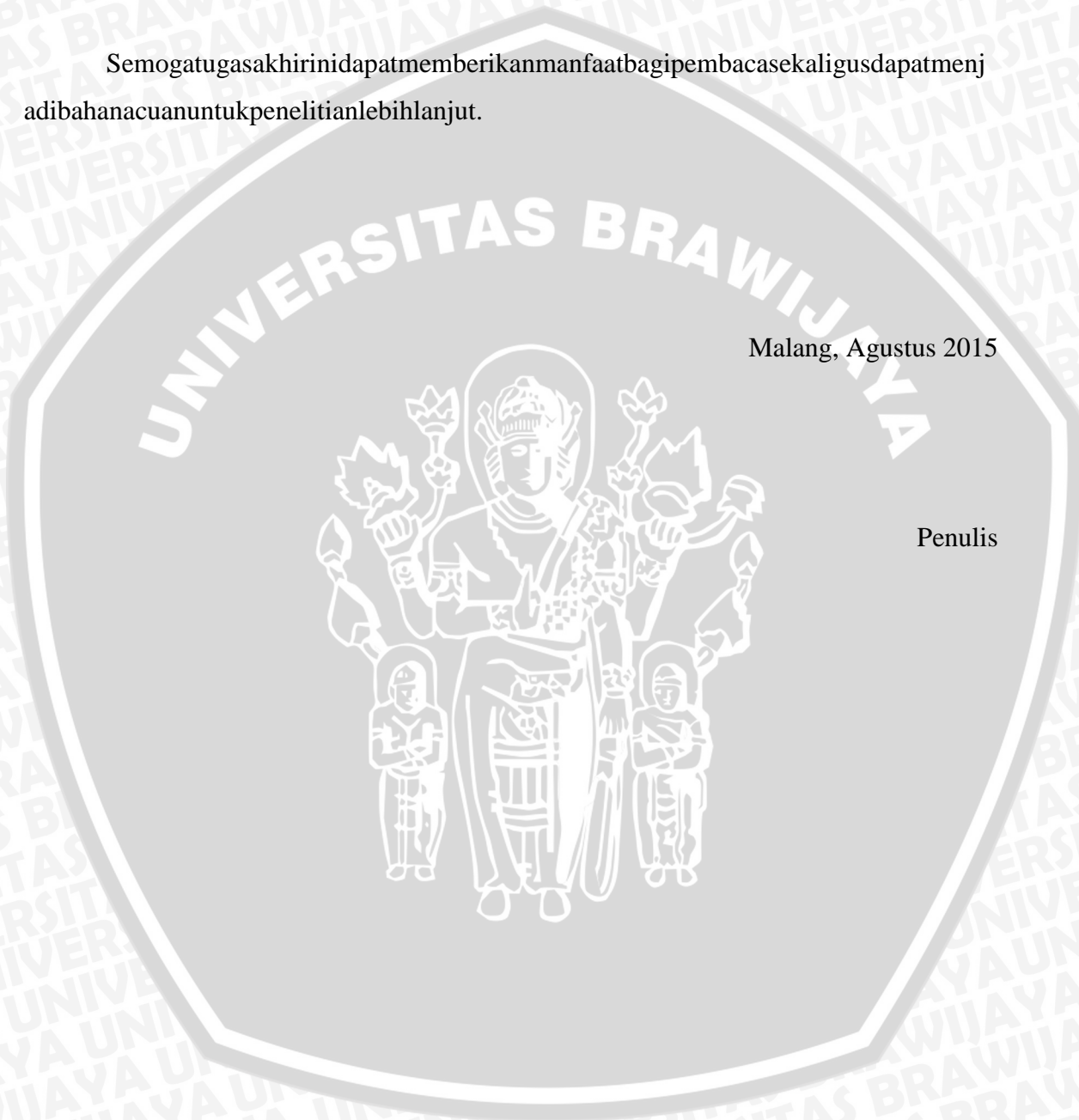
1. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya
3. IbuProf. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini
4. IbuDr. Eng. Devi Nuralinah, ST., MT.,selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini
5. Kedua orang tua yang tercinta, Siti Muslimah dan Mulyo, yang telah memberikan dukungan moril dan materil yang tidak ternilai dari awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan selama masa perkuliahan
7. Pak Sugeng, Pak Hadi, dan Mas Dino selaku pihak dari Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan yang telah membantu selama kegiatan penelitian di laboratorium
8. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil yang telah membantu dan mendukung selama masa perkuliahan

9. Keluarga AMERA Bridge Club yang telah mendukung dan memberikan pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan
10. Saudara serta sahabatku alumni SID (*Student of IPA Dua*), Heregetdeck Group, Coro Joyogrand 68, Kicklick Team, lorong.com officer, dan juga semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Semogatusakhirinidapatmemberikanmanfaatbagipembacasekaligusdapatmenjadibahanacuanuntukpenelitianlebihlanjut.

Malang, Agustus 2015

Penulis



RINGKASAN

Candra Kurniawan Ramadhani, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2015, Berat Volume dan Kekakuan Plat Satu Arah pada Plat Beton Bertulangan Bambu dengan Lapis *Styrofoam*, Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Dr. Eng. Devi Nuralinah, ST., MT.

Beton merupakan suatu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan pada sistem-sistem konstruksi. Beton memiliki keunggulan pada kuat tekannya yang tinggi namun sangat lemah pada kuat tariknya. Oleh karena itu dibutuhkan tulangan untuk mengoptimalkan kekuatan beton dalam menahan beban yang terjadi. Selain harganya yang relatif mahal, penggunaan tulangan baja sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui akan mengakibatkan terbatasnya kesediaan di alam. Sehingga digunakan bambu sebagai alternatif pengganti tulangan baja. Beton normal memiliki berat volume yang besar. Untuk mengurangi berat sendiri struktur yang secara otomatis dapat membuat struktur lebih efisien dan ekonomis diperlukan suatu inovasi yaitu penggunaan beton ringan. Penggunaan *styrofoam* sebagai bahan pengisi beton dapat mengurangi berat beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar beban vertikal maksimum yang dapat ditahan, besar lendutan yang terjadi ketika menerima beban, berat volume, dan kekakuan dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*.

Pada penelitian ini objek yang digunakan yaitu plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dengan jumlah benda uji 3 buah lalu dibandingkan dengan benda uji pembanding yaitu plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* dengan jumlah benda uji 2 buah. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung. Dimensi plat 40x80x5 cm. Dimensi tulangan bambu 6x6 mm dengan panjang 750 mm untuk tulangan arah memanjang dan 6x6 mm dengan panjang 360 mm untuk tulangan arah melintang. Dimensi *styrofoam* 36x75x1 cm. Pembebanan secara vertikal statik dilakukan pada bagian tengah bentang setelah plat beton berumur 28 hari. Benda uji diberikan beban hingga mencapai keruntuhan, kemudian dilakukan pengambilan data antara lain beban, lendutan, berat dan dimensi plat.

Hasil dari penelitian ini dapat diketahui bahwa plat beton tanpa lapis *styrofoam* dapat menahan beban lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam*, lendutan yang terjadi pada plat beton tanpa lapis *styrofoam* lebih kecil daripada plat beton dengan lapis *styrofoam*, plat beton dengan lapis *styrofoam* memiliki nilai berat volume yang lebih kecil daripada plat beton tanpa lapis *styrofoam*, dan plat beton tanpa lapis *styrofoam* memiliki kekakuan yang lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam* dengan selisih yang tidak begitu besar yaitu 8,711%.

Kata kunci : plat beton, tulangan bambu, *styrofoam*, kekakuan, berat volume

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelat.....	5
2.2 Beton	7
2.2.1 Agregat	8
2.2.2 Semen	8
2.2.1 Air	9
2.3 Beton Ringan	9
2.4 Komposit.....	10
2.5 Bambu	11
2.6 Sifat-sifat Mekanik Bambu	12
2.7 Penelitian Mengenai Bambu	15
2.8 <i>Styrofoam</i>	16
2.9 Berat Volume	16
2.10 Kekakuan	17
2.10.1 Perhitungan Defleksi	18
2.11 Hipotesis Penelitian	17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Rancangan Penelitian.....	20
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.3	Peralatan dan Bahan Penelitian.....	21
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	22
3.5	Prosedur Penelitian.....	23
3.6	Variabel Penelitian.....	24
3.7	Benda Uji dan <i>Setting</i>	24
3.8	Metode Analisis Data.....	27

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian Bahan Penyusun Pelat.....	29
4.1.1	Pengujian Beton Segar.....	29
4.1.2	Pengujian Tegangan <i>Pull-out</i> Bambu.....	30
4.1.3	Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton.....	31
4.1.4	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	33
4.2	Analisa Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis.....	34
4.2.1	Pemodelan Struktur.....	34
4.2.2	Kapasitas Lentur.....	34
4.3	Berat Volume Plat Beton.....	39
4.3.1	Hasil Pengukuran Pelat Beton.....	39
4.3.2	Analisa Berat Volume Plat Beton.....	40
4.4	Pengujian Plat Beton Terhadap Beban Vertikal.....	40
4.4.1	Hasil Pengujian Pelat Beton Terhadap Beban Vertikal.....	41
4.5	Analisa Kekakuan Plat.....	46
4.5.1	Perhitungan Kekakuan Secara Teoritis.....	46
4.5.2	Perhitungan Kekakuan Secara Eksperimen.....	48

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	53

DAFTAR PUSTAKA..... 54**Lampiran 1.....** 55**Lampiran 2.....** 70**Lampiran 3.....** 71**Lampiran 4.....** 73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Uji Tarik Bambu	14
Tabel 3.1 Rencana Form Data Benda Uji	28
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Slump	29
Tabel 4.2 Nilai Standar Slump	30
Tabel 4.3 Perencanaan Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)	32
Tabel 4.4 Perbandingan Campuran Pada Perencanaan <i>Mix Design</i>	33
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	33
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Plat Beton	39
Tabel 4.7 Analisa Berat Volume Plat Beton Tanpa Lapis <i>Styrofoam</i>	40
Tabel 4.8 Analisa Berat Volume Plat Beton Dengan Lapis <i>Styrofoam</i>	40
Tabel 4.9 Perbandingan antara Beban Maksimum Teoritis dengan Hasil Eksperimen .	41
Tabel 4.10 Perbandingan antara Lendutan Maksimum Hasil Eksperimen dengan Teoritis.....	42
Tabel 4.11 Perbandingan Perhitungan Kekakuan Plat Berdasarkan Hasil Eksperimen dan Perhitungan Teoritis.....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 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 Khosrow (Gavami, 2004)	13
Gambar 2.2 Diagram tegangan-regangan bambu dan baja (Morisco, 1999)	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2 Tampak Atas Benda Uji	25
Gambar 3.3 Detail Potongan Melintang Benda Uji	25
Gambar 3.4 <i>Setting Up</i> Pengujian	26
Gambar 3.5 Posisi LVDT pada Pengujian Plat (Potongan A-A)	27
Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Defleksi (Δ).....	28
Gambar 4.1 Pengujian Tegangan <i>Pull-out</i> Bambu.....	30
Gambar 4.2 Pemodelan Pembebanan Struktur.....	34
Gambar 4.3 Detail Penampang.....	34
Gambar 4.4 Diagram Tegangan Penampang.....	35
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Tanpa <i>Styrofoam</i>	43
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Tanpa <i>Styrofoam</i>	43
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Dengan <i>Styrofoam</i>	44
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Dengan <i>Styrofoam</i>	44
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1	45
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2.....	45
Gambar 4.11 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Tanpa <i>Styrofoam</i>	49
Gambar 4.12 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Dengan Lapis <i>Styrofoam</i>	49
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Regresi Hubungan Beban dan Lendutan dari Kedua Jenis Benda Uji.....	50

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia yang terus meningkat dan terbatasnya sumber daya alam yang tersedia membuat para peneliti untuk terus berupaya mencari bahan pengganti bahan konvensional pada dunia konstruksi. Sehingga bermunculan berbagai bahan inovatif untuk digunakan sebagai bahan konstruksi. Selain itu kombinasi antara bahan-bahan inovatif tersebut juga dapat menghasilkan suatu elemen struktur yang inovatif dan memiliki beberapa keunggulan-keunggulan tertentu.

Secara umum dalam suatu proyek pembangunan diharapkan suatu konstruksi dapat dibangun secara kokoh dan efisien. Agar didapat konstruksi yang kokoh, perlu adanya perencanaan yang matang dan pelaksanaan yang baik. Perencanaan yang matang akan membuat suatu desain yang baik seperti yang diharapkan oleh sang perencana. Pelaksanaan yang baik pada saat proses konstruksi akan menjamin kekuatan bangunan seperti yang telah direncanakan dan dapat menjaga mutu serta keawetan bangunan. Sedangkan agar dapat mencapai suatu konstruksi yang efisien, perlu adanya perencanaan yang matang, pelaksanaan yang baik, serta penggunaan teknologi alat dan bahan yang mutakhir. Teknologi perkembangan material dan bahan konstruksi bangunan semakin berkembang. Salah satu penerapan perkembangan teknologi bahan dalam bidang konstruksi yaitu beton ringan.

Beton merupakan suatu bahan konstruksi yang banyak digunakan pada sistem-sistem konstruksi. Beton memiliki keunggulan yaitu kuat tekan yang tinggi, namun kekurangannya terletak pada kuat tarik yang rendah yaitu sekitar 10% terhadap kuat tekan beton. Oleh karena itu untuk menambah kuat tarik dan geser pada beton tersebut digunakan baja sebagai tulangan karena baja memiliki keunggulan pada kuat tariknya. Namun penggunaan baja sebagai tulangan saat ini sudah sangat banyak. Apabila tidak ada upaya untuk mencari inovasi bahan pengganti baja sebagai tulangan, maka suatu saat nanti akan habis karena baja merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, bahan alternatif pengganti baja sebagai tulangan sangat diperlukan. Penggunaan bambu merupakan salah satu pilihan yang baik untuk saat ini.

Bambu adalah salah satu tumbuhan yang terdapat hampir di seluruh wilayah di Indonesia, bahkan di dunia. Pada umumnya di Indonesia tanaman bambu digunakan

sebagai tiang penyangga rumah, dinding, pelapis atap, perabot rumah tangga, barang kerajinan, dan lain-lain. Bambu memiliki serat-serat padat ke arah memanjang dengan bentuk yang teratur. Hal ini membuat bambu memiliki keunggulan yaitu kuat tarik yang tinggi. Selain itu, bambu juga memiliki beberapa kekurangan antara lain: mudah terserang rayap, mudah terbakar, dan mudah terbelah. Namun dengan perlakuan yang baik dan benar, pemanfaatan bambu dapat digunakan lebih luas lagi, salah satunya adalah pengganti baja sebagai tulangan pada konstruksi beton bertulang.

Dalam perancangan suatu struktur beton bertulang diharapkan terjadi ikatan yang sempurna antara tulangan dengan beton sehingga tidak terjadi pergelinciran. Bambu memiliki ikatan yang rendah terhadap beton dibandingkan tulangan baja. Salah satu penyebab ikatan yang rendah ini yaitu karena bambu memiliki sifat *higroskopis* yang tinggi. Untuk mengurangi dampak tersebut, maka dilakukan suatu perlakuan khusus pada bambu.

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat volume yang lebih kecil daripada beton pada umumnya. Sifat beton ringan ini menjadi keunggulan, sehingga mengurangi jumlah kebutuhan beton dan secara signifikan dapat mengurangi berat sendiri suatu struktur bangunan yang kemudian akan berpengaruh pada perencanaan pondasi. Hal ini juga memberikan dampak yang positif selain dapat meminimalisir berat, juga dapat membuat suatu struktur bangunan memiliki nilai ekonomis dan efisien.

Prinsip pembuatan beton ringan adalah membuat rongga udara di dalam beton atau menggunakan material yang lebih ringan. Pada pelat yang digunakan pada penelitian ini digunakan *styrofoam* sebagai material pengisi yang juga berfungsi sebagai pembuat rongga udara di dalam beton karena berat *styrofoam* yang sangat ringan. Penempatan *styrofoam* pada pelat ini yaitu pada bagian tengah penampang. Pemilihan penempatan *styrofoam* ini berdasarkan pada nilai tegangan penampang simetris sama dengan nol pada tengah penampang dan semakin besar menuju bagian tepi penampang. Sehingga diharapkan dapat mengurangi berat volume pelat dan hanya memiliki sedikit perbedaan kekakuannya dibandingkan dengan pelat dengan kondisi yang sama namun tanpa *styrofoam*.

Dalam penelitian ini akan diteliti lebih lanjut mengenai beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh plat, lendutan, kekakuan, dan berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*. Sehingga plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini dapat menjadi alternatif yang baik sebagai plat struktural yang memiliki keunggulan dalam segi berat sendiri dan efisiensi bahannya.

1.2 Identifikasi Masalah

Plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini didesain sebagai plat lantai struktural yang akan menahan beban vertikal. Plat beton ini diusahakan agar mampu menahan beban vertikal statik yang akan bekerja terhadapnya.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini?
2. Berapa lendutan yang terjadi pada plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini ketika menerima beban?
3. Berapa berat volume dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini?
4. Bagaimana kekakuan dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini?

1.4 Batasan Penelitian

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Tebal *styrofoam* 1 cm
2. Benda uji berupa plat beton dengan dimensi 40x80x5 cm
3. Beton menggunakan campuran semen, pasir, dan kerikil dengan perbandingan 1:3:1
4. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung
5. Dimensi tulangan bambu 0,6x0,6 cm dengan panjang 75 cm untuk tulangan arah memanjang dan 36 cm untuk tulangan arah melintang
6. Pengamatan yang dilakukan meliputi berat plat, dimensi plat, beban yang terjadi, dan lendutan
7. Pada penelitian ini hanya dilakukan uji tegangan *pull-out* saja untuk mengetahui kuat lekat tulangan bambu. Nilai kuat tarik dan modulus elastisitas bambu didapatkan dari penelitian terdahulu dengan jenis dan perlakuan yang sama pada tulangan bambunya.

8. Jumlah benda uji A adalah plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* sebanyak 3 buah dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* sebanyak 2 buah.
9. Asumsi tumpuan sendi-sendi
10. Pengujian dilakukan pada saat plat beton berumur 28 hari

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besar beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini.
2. Untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi pada plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini ketika menerima beban.
3. Untuk mengetahui berat volume dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*.
4. Untuk mengetahui kekakuan dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi praktisi lapangan, antara lain:
 - Sebagai bahan pertimbangan dan referensi informasi untuk menentukan solusi guna memproduksi beton ringan yang ekonomis namun tidak mengabaikan kekuatan struktur itu sendiri
2. Bagi kalangan akademisi:
 - Sebagai referensi informasi data kekakuan dan berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* sehingga dapat digunakan sebagai penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plat

Plat merupakan struktur yang tipis dengan bidang arah horizontal dengan beban yang tegak lurus bekerja pada bidang strukturnya. Plat mempunyai dimensi panjang, lebar, dan tebal. Ketebalan plat relatif kecil dibandingkan dimensi panjang dan lebar bidangnya. Plat dapat berfungsi sebagai diafragma atau unsur pengaku horizontal pada bangunan gedung, karena sifatnya yang kaku pada arah horizontal. Umumnya beban yang terjadi pada plat adalah beban gravitasi yang merupakan kombinasi antara beban mati dan beban hidup. Beban tersebut mengakibatkan terjadi momen lentur sehingga plat tersebut juga direncanakan terhadap beban lentur.

Plat beton bertulang merupakan plat yang sering digunakan pada bangunan-bangunan sebagai plat lantai gedung, plat atap, plat lantai jembatan, penutup saluran, plat lantai pada dermaga, dan lain-lain. Pada perencanaan plat ini umumnya diperhitungkan beban gravitasi yaitu beban akibat beban mati dan beban hidup yang akan mengakibatkan terjadinya momen lentur pada plat.

Dinar Gumilang Jati (2013) melakukan penelitian mengenai analisis lentur plat satu arah beton bertulang berongga bola menggunakan metode elemen hingga non linier. Dari hasil penelitian ini dapat dinyatakan bahwa nilai kuat lentur plat berongga bola pada penelitian mendekati kuat lentur plat solid.

Putra, Sedana, dan Santika (2007) melakukan penelitian mengenai kapasitas lentur plat beton bertulang bambu. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa bambu petung dapat digunakan sebagai tulangan pengganti baja dalam struktur plat beton bertulang di dalam menahan lentur yang digunakan pada struktur-struktur yang bersifat tidak permanen.

Perencanaan plat tidak hanya memperhatikan pembebanan saja, namun jenis perletakan dan jenis penghubung pada tumpuannya. Salah satu bagian penting dari perencanaan plat adalah kekakuan hubungan antara plat dan balok pada suatu sistem konstruksi. Terdapat 3 macam perletakan plat pada balok, antara lain:

1. Terletak bebas, yaitu dimana pada saat pelaksanaan plat hanya diletakkan begitu saja di atas balok atau plat dan balok tidak dilakukan pengecoran secara bersamaan.
2. Terjepit elastis, yaitu dimana plat dicor bersamaan dengan balok secara monolit namun ukuran balok relatif kecil, sehingga mengakibatkan terjadinya rotasi pada plat.
3. Terjepit penuh, yaitu dimana balok dan plat dicor secara bersamaan secara monolit dan ukuran balok cukup besar sehingga tidak terjadi rotasi pada plat.

Pada dasarnya sistem perencanaan plat terdapat dua macam, yaitu sistem perencanaan plat satu arah dan sistem perencanaan plat dua arah. Sistem perencanaan plat satu arah merupakan perencanaan plat dengan tulangan pokok satu arah. Hal ini disebabkan momen lentur yang bekerja hanya pada satu arah. Oleh karena itu tulangan pokok dipasang searah dengan momen lentur yang bekerja pada plat tersebut. Tulangan tambahan juga perlu dipasang dengan arah tegak lurus tulangan pokok agar tulangan pokok tidak mengalami perubahan posisi, tulangan ini disebut tulangan bagi.

Sistem perencanaan plat dua arah merupakan perencanaan plat dengan menggunakan tulangan pokok pada dua arah yang saling tegak lurus. Pada sistem perencanaan plat dua arah ini momen lentur yang bekerja pada dua arah bentangnya, sehingga tulangan pokok yang dipasang adalah dua arah bentang yang saling tegak lurus tanpa tulangan bagi. Di daerah tumpuan momen lentur yang bekerja secara dominan hanya momen satu arah saja, maka tulangan pokok yang dipasang hanya satu arah saja dan dipasang tulangan bagi.

Apabila plat beton hanya ditumpu pada kedua sisinya yang saling berhadapan maka plat tersebut dinamakan plat satu arah. Plat satu arah merupakan plat yang mengalami lentur hanya pada satu arah saja yaitu pada arah tegak lurus sisi perletakan. Sedangkan jika plat tersebut ditumpu pada keempat sisinya, maka plat tersebut dinamaka plat dua arah karena mengalami lentur pada kedua arahnya.

Beban yang bekerja pada plat mengakibatkan lendutan pada plat, sehingga plat akan mengalami deformasi melengkung ke bawah. Lendutan maksimum yang terjadi terletak pada tengah bentang dan lendutan yang terkecil terletak pada daerah terdekat dengan tumpuan. Momen lentur dan lendutan yang terjadi merupakan fungsi dari beban yang bekerja pada plat, semakin besar beban yang bekerja pada plat maka semakin besar pula momen lentur dan lendutan yang terjadi pada plat, begitu juga sebaliknya.

2.2 Beton

Beton merupakan sebuah campuran dari agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture) (SNI 03-2847-2002). Agregat halus dapat berupa pasir, sedangkan agregat kasar dapat berupa kerikil atau batu pecah. Campuran antara semen dan air disebut pasta, apabila ditambahkan dengan agregat halus disebut mortar, dan jika ditambahkan dengan agregat kasar disebut beton. Beton terbentuk dari terjadinya proses hidrasi antara semen dengan air dan mengikat agregat tersebut. Beton adalah material yang nilai daktilitasnya tinggi dan memiliki kuat tekan yang tinggi dibandingkan kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Karena itu beton hanya diperhitungkan bekerja dengan baik di daerah tekan pada penampangnya, sedangkan gaya tarik dipikul oleh tulangnya, baik tulangan dari baja maupun dari bahan lainnya (Dipohusodo, 1994).

Kuat tekan beton akan semakin bertambah seiring naiknya umur beton. Kekuatan beton akan mengalami peningkatan secara cepat pada umur satu hari sampai 28 hari, namun peningkatan kekuatan yang terjadi pada beton akan semakin melambat setelah umur 28 hari. Maka kekuatan beton pada umur 28 hari digunakan sebagai standar kekuatan beton.

Perawatan beton selama proses pengerasan sangat dibutuhkan untuk mempertahankan reaksi hidrasi secara kimiawi. Apabila beton terlalu cepat mengering akan terjadi retak pada permukaannya sehingga dapat menyebabkan kekuatan beton berkurang. Berikut ini adalah macam-macam metode perawatan yang baik:

1. Permukaan beton dibasahi dengan air
2. Beton direndam di dalam air
3. Beton dilapisi dengan karung basah, film plastik, atau kertas perawatan yang tahan air
4. Menggunakan perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air beton dari keadaan beton basah

5. Perawatan uap untuk beton yang dicetak di pabrik. Temperatur perawatan uap yang digunakan ini sekitar 150°F. Waktu perawatan yang dilakukan biasanya 1 hari, metode ini lebih cepat dibanding dengan metode yang lain yang membutuhkan waktu sekitar 5 sampai 7 hari.

2.2.1 Agregat

Agregat adalah bahan pengisi yang terdapat di dalam beton. Agregat merupakan bahan campuran yang berpengaruh dalam kekuatan beton. Agregat dibagi menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus merupakan agregat yang butirannya lolos ayakan dengan lubang 4,8 mm, sedangkan agregat kasar merupakan agregat yang tertahan ayakan dengan lubang 4,8 mm.

Agregat dalam beton ini memiliki fungsi antara lain:

1. Mengurangi pemakaian semen sehingga kebutuhan semen menjadi lebih kecil
2. Memberikan kekuatan yang besar pada beton
3. Mengurangi penyusutan yang terjadi pada saat beton mengeras
4. Dengan gradasi agregat yang baik dapat menghasilkan beton yang lebih padat dan memiliki sifat *workability* yang baik.

2.2.2 Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis yang akan mengeras apabila dicampur dengan air sehingga mengikat agregat yang terdapat di dalam beton.

Semen Portland diklasifikasikan dalam lima jenis, yaitu :

- Jenis I : Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain,
- Jenis II : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalori hidrasi sedang,
- Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi,
- Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalori hidrasi rendah, dan

- Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.3 Air

Air merupakan material yang dibutuhkan pada proses pembuatan beton agar terjadi reaksi secara kimiawi dengan semen dan untuk membasahi agregat agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang baik untuk campuran beton adalah air yang dapat diminum. Karena air yang tidak dapat diminum pada umumnya mengandung bahan-bahan atau senyawa yang berbahaya, mineral-mineral, atau bahan kimia lain yang dapat mengubah sifat semen bahkan menurunkan mutu beton.

2.3 Beton Ringan

Beton ringan (*lightweight concrete*) adalah beton yang memiliki berat jenis yang lebih ringan dibanding beton pada umumnya. Beton ringan total adalah beton ringan yang agregat halus nya bukan berasal dari pasir alami, sedangkan beton ringan berpasir adalah beton ringan yang agregat halus nya terbuat dari pasir alami. Oleh karena beton ringan ini memiliki keunggulan pada beratnya, maka beton ringan dapat diaplikasikan pada proyek bangunan tinggi (*high rise building*) yang secara langsung dapat mengurangi berat sendiri suatu struktur bangunan sehingga selanjutnya dapat berdampak terhadap upaya meminimalisir biaya pembangunan.

Terdapat berbagai macam cara pembuatan beton ringan ini. Pada prinsipnya, pembuatan beton ringan ini adalah membuat rongga udara di dalam beton atau menggunakan bahan material yang lebih ringan. Berikut ini adalah beberapa contoh metode pembuatan beton ringan:

- Mengganti agregat beton pada umumnya dengan agregat yang lebih ringan atau menggunakan material isian misalnya *styrofoam*. Agregat tersebut dapat berupa *pumice* (batu apung), batu alwa, dll
- Menghilangkan agregat halus, misalnya menghilangkan debu atau abu terbang
- Membuat atau mengisi udara di dalam beton, hal ini dapat dilakukan dengan cara mekanik maupun kimiawi.

2.4 Komposit

Pada dasarnya prinsip sistem komposit pada struktur beton bertulang yaitu memperhitungkan pengaruh elemen-elemen yang berbeda sehingga dapat menjadi satu kesatuan dengan perilaku yang sama dalam mekanisme menahan beban dan gaya-gaya dari luar. Pada sistem komposit, setiap elemen penyusunnya memiliki modulus elastisitas yang berbeda. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan normal tarik atau tekan dengan regangan yang timbul akibat tegangan tersebut. Perbedaan modulus elastisitas ini membuat perhitungan menjadi sedikit rumit. Sehingga untuk mempermudah perhitungan terhadap tegangan yang terjadi digunakan suatu metode yang disebut Metode Penampang Transformasi. Prinsip Metode Penampang Transformasi ini adalah dengan mengganti luasan penampang dari kedua material menjadi satu bahan yang sama atau homogen dengan tujuan untuk menjadikan suatu kesatuan perilaku yang sama dalam mekanisme menahan gaya-gaya luar.

Pada penelitian ini digunakan bambu sebagai tulangnya. Perhitungan Metode Penampang Transformasi untuk penelitian ini diperlukan peninjauan terhadap luas tulangan bambu. Sehingga dilakukan penggantian luasan salah satu material untuk menjadi material lain agar menjadi satu material yang sama atau homogen. Pemilihan jenis material penampang ini berdasarkan nilai modulus elastisitas dari material penyusun kompositnya. Karena besar modulus elastisitas dari beton (E_c) lebih besar dari modulus elastisitas tulangan (E bambu), maka dilakukan perhitungan dengan cara mengganti luas beton dengan luas bambu.

Dengan menggunakan nilai perbandingan modulus elastisitas :

$$n = \frac{E_c}{E \text{ bambu}} \quad (2-1)$$

sehingga didapatkan luasan penampang yang baru setelah dilakukan penggantian luasan beton:

$$A = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s \quad (2-2)$$

Dimana :

- n = rasio modulus elastisitas antara beton dengan tulangan bambu
- E_{bambu} = modulus elastisitas bambu (kg/cm^2)

E_c	= modulus elastisitas spesi (kg/cm^2)
A	= luas penampang setelah transformasi (cm^2)
b	= lebar penampang setelah transformasi (cm)
h	= tinggi penampang komposit (cm)
A_s	= luas tulangan bambu (cm^2)

2.5 Bambu

Bambu adalah salah satu tanaman jenis rumput-rumputan yang memiliki batang keras berongga dan memiliki ruas di batangnya. Bambu memiliki banyak jenis. Bambu merupakan salah satu tanaman yang memiliki tingkat pertumbuhan sangat cepat di dunia karena memiliki sistem perkembangbiakan rhizoma. Bambu merupakan tanaman yang memiliki laju pertumbuhan tertinggi di dunia. Namun laju pertumbuhan ini ditentukan oleh kondisi tanah lokal, iklim, dan jenis spesiesnya. Laju pertumbuhan bambu yang paling umum adalah sekitar 3-10 cm per harinya. Ketika bambu ini dipanen, bambu akan tumbuh kembali dengan cepat sehingga tidak mengganggu ekosistem.

Bambu merupakan salah satu material bangunan yang sangat serbaguna. Di Indonesia penggunaan bambu telah dimanfaatkan sejak lama. Bambu banyak dimanfaatkan perabotan seperti meja, kursi, hiasan, dan lain-lain. Selain itu pemanfaatan bambu adalah sebagai komponen konstruksi misalnya tiang, dinding, atap, tangga, dan lain-lain.

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.

2.6 Sifat-sifat Mekanik Bambu

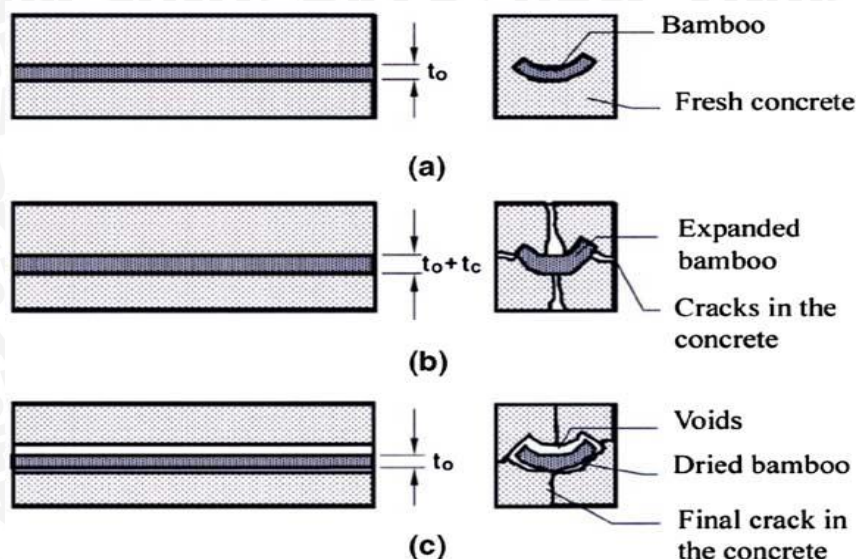
Bambu merupakan salah satu bahan yang memiliki sifat higroskopis yang artinya memiliki sifat afinitas terhadap air baik dalam bentuk uap maupun cair. Sehingga kemampuan bambu dalam mengembang dan menyusut tinggi. Penyusutan yang terjadi pada bambu secara lanjut akan mempengaruhi lekatan antara bambu dengan beton. Oleh karena itu diperlukan perlakuan khusus terhadap bambu yaitu dengan cara memberikan lapisan kedap air.

Pada penelitian ini hanya dilakukan pengujian tegangan *pull-out* saja yang bertujuan untuk mengetahui tegangan lekatan antara tulangan bambu dengan beton. Tegangan *pull-out* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\mu = \frac{P}{A} \quad (2-3)$$

Di mana μ = tegangan lekat bambu
 P = gaya *pull-out*
 A = luas selimut tulangan bambu yang dicor

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 2.1.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 2.1.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 2.1.c.



Gambar 2.1 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 Gavami (2004)

Bahan pelapis kedap air ini dapat berupa melamin, sikadur, cat atau vernis untuk mengurangi sifat higroskopis pada bambu atau menghilangkannya sama sekali. Penggunaan sikadur sebagai pelapis tulangan bambu masih relatif mahal sehingga digunakan zat pelapis berupa cat karena dinilai lebih ekonomis. Pada penelitian ini digunakan cat kayu sebagai bahan pelapis kedap air pada tulangan bambu. Penggunaan cat sebagai zat pelapis tulangan bambu didasarkan atas beberapa alasan antara lain, memiliki daya lekat yang cukup baik, mudah dalam mengaplikasikan, dapat menutup permukaan secara efektif dan membentuk kohesif film (bagian cat yang menempel) serta tahan terhadap cuaca.

Cat dibedakan menjadi dua berdasarkan zat pelarut yang digunakan, yaitu:

- Cat berpelarut air, merupakan cat yang digunakan untuk keperluan pengecatan yang tidak membutuhkan daya rekat yang tinggi. Cat jenis ini umumnya digunakan pada material yang memiliki porositas yang tinggi
- Cat berpelarut minyak, merupakan cat yang digunakan untuk keperluan pengecatan yang membutuhkan daya rekat yang tinggi. Komposisi bahan pada cat jenis ini hampir sama dengan cat berpelarut air, perbedaannya terletak pada penambahan lateks pada cat berpelarut minyak. Fungsi dari adanya penambahan lateks ini yaitu meningkatkan daya rekat terhadap permukaan yang dilapisi oleh

cat. Biasanya cat dengan pelarut minyak ini digunakan untuk melapisi material dengan porositas yang rendah misalnya kayu dan logam.

Pada penelitian ini digunakan tulangan bambu, maka cat yang digunakan adalah cat kayu atau cat dengan pelarut minyak karena sangat tepat untuk melapisi bambu yang memiliki tingkat porositas yang rendah. Namun cat kayu ini memiliki kekurangan yaitu licinnya permukaan cat setelah melapisi permukaan bambu. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu perlakuan untuk menambah daya lekat tulangan yaitu dengan menambahkan lapisan pasir pada permukaan tulangan yang telah dilapisi cat. Jadi selain sebagai bahan pelapis kedap air, fungsi cat kayu di sini juga sebagai perekat pasir untuk menambah daya rekat tulangan bambu terhadap beton.

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 2.1. Hasil Uji Tarik Bambu

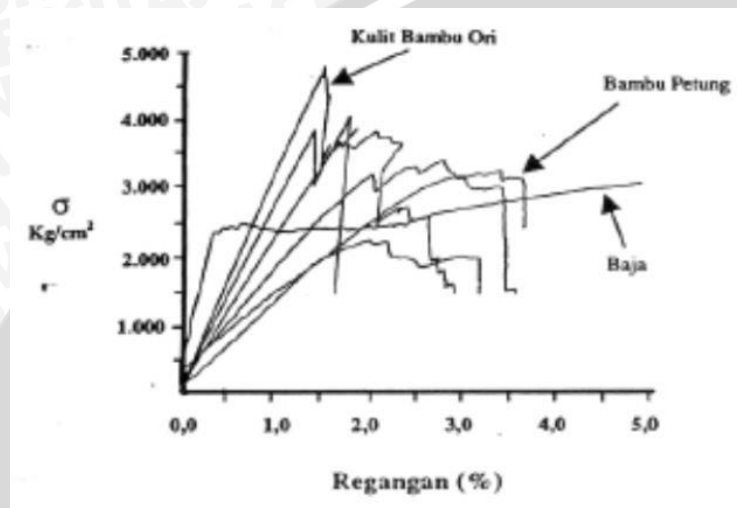
P	Dimensi Bambu	A	P/A
(N)	(cm x cm)	(mm ²)	(N/mm ²)
19800	1 x 1.1	10	180
17400	0.9 x 1.1	99	175
19000	1.2 x 0.9	108	175
15300	0.9 x 0.9	81	188
17100	1.0 x 0.9	90	190
18800	1.2 x 0.8	108	174
	rata-rata		180

Sumber: Nindyawati (2014: V-43)

2.7 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.



Gambar 2.2 Diagram tegangan-regangan bambu dan baja
Sumber : Morisco (1999)

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.
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.

2.8 Styrofoam

Styrofoam merupakan salah satu jenis polistirena yang cukup populer di kalangan masyarakat produsen maupun konsumen. Istilah lain dari *styrofoam* adalah polistirena *foam*. Sebenarnya bahan ini dibuat dengan tujuan untuk digunakan sebagai insulator pada bahan konstruksi bangunan. Polistirena foam dihasilkan dari campuran 90-95% polistirena dan 5-10% gas seperti n-butana atau n-pentana. Polistirena *foam* dibuat dari monomer stirena melalui polimerisasi suspense pada tekanan dan suhu tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa *blowing agent*.

Polistirena *foam* merupakan bahan plastic yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai berat ringan dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantarkan panas sehingga membuat bahan ini menjadi insulator panas yang sangat baik.

Polistirena *foam* banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, tetapi tidak dapat di daur ulang sehingga pengolahan limbahnya harus dilakukan secara benar agar tidak merusak lingkungan. Pemanfaatan polistirena bekas untuk bahan aditif dalam pembuatan aspal polimer merupakan salah satu cara meminimalisir limbah tersebut.

Namun masyarakat sering menggunakan *styrofoam* secara kurang tepat, seperti digunakan sebagai wadah makanan, padahal bahan ini memiliki kandungan yang akan cepat bereaksi dengan makanan dan dapat merusak organ tubuh manusia. Untuk mengaplikasikan manfaat dari *styrofoam* yang sebenarnya, oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan *styrofoam* sebagai pengisi pada plat beton bertulang bambu agar berat plat beton tersebut menjadi lebih ringan.

2.9 Berat Volume

Berat volume merupakan rasio perbandingan antara berat dan volume. Berat volume plat (kg/m^3) adalah rasio perbandingan antara berat plat (kg) dengan volume plat (m^3). Rumus perhitungan berat volume adalah sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{w}{v} \quad (2-4)$$

Di mana γ = berat volume plat (kg/m^3)

w = berat plat (kg)

V = volume plat (m^3)

Kemudian volume plat didapat dari rumus:

$$V = p \cdot l \cdot t \quad (2-5)$$

Di mana V = volume plat (m^3)

p = panjang plat (m)

l = lebar plat (m)

t = tinggi plat (m)

2.10 Kekakuan

Pada dasarnya hubungan beban dan lendutan dari balok beton bertulang dapat diidealisasikan menjadi bentuk tiga garis lurus. Hubungan tiga garis lurus ini meliputi tiga tahap sebelum terjadinya kondisi runtuh. Tiga tahap tersebut antara lain tahap praretak di mana elemen struktural masih belum retak, tahap pascaretak di mana elemen struktural sudah mengalami retak namun masih dapat ditoleransi, dan tahap *post-serviceability* di mana tulangan tarik pada elemen struktural tersebut sudah mencapai tegangan leleh.

Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan lendutan pada saat plat beton dalam keadaan elastis penuh atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan lendutan pada tahap praretak. Sehingga kekakuan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (2-6)$$

Di mana k = kekakuan

P = beban

Δ = lendutan

2.10.1 Perhitungan Defleksi

Defleksi batang struktural merupakan suatu fungsi dari panjang bentang, perletakan atau kondisi ujung-ujungnya (misalnya jenis tumpuan atau adanya tahanan karena hubungan batang-batang), jenis beban (beban terpusat atau beban merata), dan kekakuan lentur (EI) dari suatu elemen tersebut.

Persamaan umum defleksi maksimum Δ_{maks} pada balok elastis dapat diperoleh dengan cara prinsip dasar mekanika, yaitu:

$$\Delta_{max} = K \frac{W.ln^3}{48EIc} \quad (2-7)$$

Di mana

W = beban total bentang

ln = panjang bentang bersih

E = modulus beton

Ic = momen inersia penampang

K = suatu faktor yang bergantung pada derajat kekakuan tumpuan

Harga defleksi elastis maksimum pada setiap bentuk sistem struktur berbeda tergantung kondisi tumpuan dan jenis pembebanannya. Berikut ini adalah persamaan defleksi maksimum untuk tumpuan sendi-sendi dengan beban terpusat di tengahnya.

$$\Delta_{maks} = \frac{P.l^3}{48.EI} \quad (2-8)$$

Di mana

Δ = defleksi

P = besar beban terpusat

l = panjang bentang bersih

E = modulus elastisitas

I = momen inersia penampang

3.1 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* akan menahan beban vertikal maksimum lebih besar dibandingkan plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*.
2. Plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* akan mempunyai nilai lendutan lebih besar dibandingkan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.
3. Plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* akan mempunyai nilai berat volume lebih kecil dibandingkan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.
4. Plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* akan mempunyai nilai kekakuan lebih kecil dibandingkan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada skripsi ini adalah metode eksperimental dimana metode yang digunakan dengan cara dilakukan suatu percobaan untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang akan digabungkan dengan variabel yang diselidiki. Penelitian ini akan dilakukan di dalam laboratorium. Beberapa data pada pengujian bahan digunakan data yang didapat dari penelitian-penelitian sebelumnya dikarenakan penggunaan bahan dan sumber yang sama.

Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* lalu dibandingkan dengan benda uji pembanding plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam*. Pada benda uji ini dilakukan pembebanan beban vertikal statik setelah beton berumur 28 hari.

Pelaksanaan penelitian adalah meliputi 2 analisis sebagai berikut:

1. Analisis teori yakni dengan menggunakan teori yang ada untuk memprediksi beban maksimum, lendutan, dan kekakuan plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* sehingga analisis ini nantinya menghasilkan nilai-nilai teoritis berdasarkan tinjauan pustaka. Seperti halnya analisis dalam memprediksi beban vertikal maksimum yang dapat diterima oleh plat.
2. Analisis data eksperimental, dimana data teknis pada benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* ini digunakan untuk mendapatkan suatu hasil penelitian yang nantinya akan digunakan untuk menyusun kesimpulan terhadap perbandingan kekakuan dan berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* terhadap dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

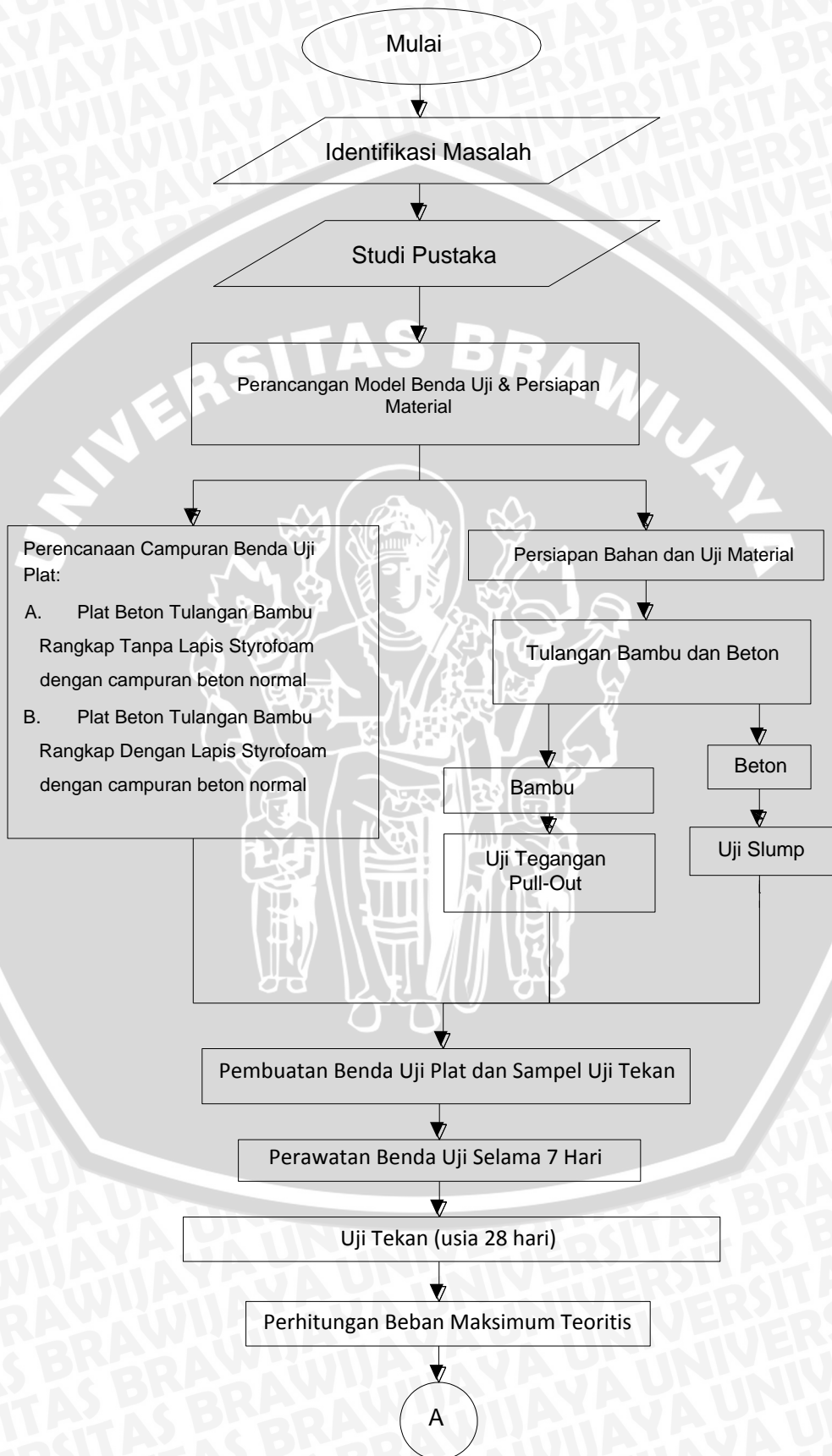
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian yang dilakukan adalah pada semester genap bulan Maret sampai Juli tahun 2015.

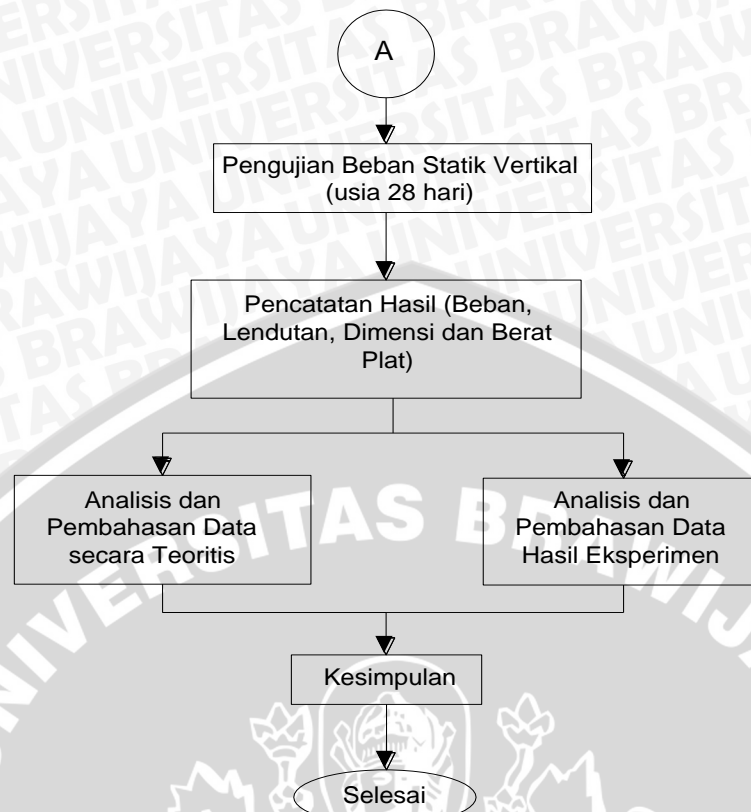
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Peralatan
 - a. Timbangan
 - b. Molen
 - c. Gergaji kayu
 - d. Meteran
 - e. Kuas
 - f. Tang
 - g. Cutter
 - h. Bekisting
 - i. *Vibrator*
 - j. *Loading frame*
 - k. Tumpuan
 - l. *Load cell*
 - m. *Load transducer*
 - n. LVDT
 - o. *Hydraulic jack*
 - p. Alat tulis
2. Bahan
 - a. Semen Portland (PC) tipe I
 - b. Agregat halus berupa pasir
 - c. Batu split 5 mm
 - d. Air
 - e. Tulangan bambu petung dengan dimensi penampang 6x6 mm
 - f. Kawat bendrat
 - g. Cat kayu
 - h. *Styrofoam*

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Prosedur Penelitian

1. Persiapan benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dengan ukuran 40x80x5 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 6x6 mm. Benda uji sebanyak 3 buah
2. Persiapan benda uji plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* dengan ukuran 40x80x5 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 6x6 mm. Benda uji sebanyak 2 buah
3. Pembuatan bekisting
4. Pengecoran benda uji plat
5. Pengambilan sampel silinder beton berukuran 5 cm sejumlah 3 buah pada masing-masing pengecoran
6. Perawatan benda uji selama 7 hari dengan cara disiram dan ditutup karung basah
7. Pengujian kuat tekan beton dari sampel plat setelah berumur 28 hari

1. Pengujian pelat beton yang berusia 28 hari dilakukan dengan beban statik vertikal hingga mencapai beban maksimum aktual. Kemudian dilanjutkan ke tahap *displacement control* hingga mencapai keruntuhan plat
2. Rekap dan analisis data
3. Pembahasan hasil pengolahan data
4. Kesimpulan

3.2 Variabel Penelitian

Terdapat hubungan dalam variabel, misalnya untuk variabel A dan variabel B. Jika variabel B merupakan sebab dari variabel A, maka variabel B adalah variabel terikat (*dependent*) dan variabel A adalah variabel bebas (*antecedent*)

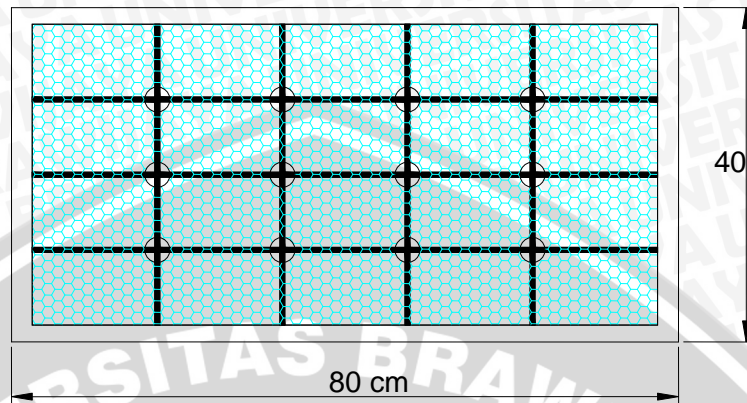
Variabel penelitian yang diukur dalam penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas (*antecedent*)
 - Jenis benda uji terdiri dari 2 jenis, yaitu plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*
- b. Variabel terikat (*dependent*)
 - Besar beban
 - Nilai lendutan
 - Berat volume

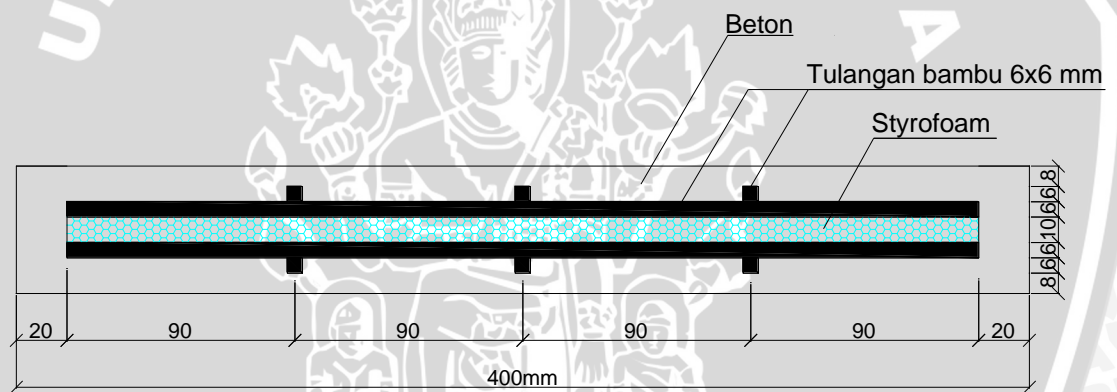
3.3 Benda Uji dan Setting

Benda uji berupa plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* dengan dimensi 40x80x5 cm dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* dengan dimensi 40x80x5 cm. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung. Dimensi tulangan bambu 0,6x0,6 cm dengan panjang 75 cm untuk tulangan arah memanjang dan 36 cm untuk tulangan arah melintang. Terdapat *shear connector* pada setiap pertemuan antara tulangan memanjang dan melintang yang berupa lubang diameter 3 cm pada *styrofoam* yang nantinya akan terisi oleh beton. Campuran beton yang digunakan pada benda uji adalah campuran semen, pasir, dan batu split. Plat dicor menggunakan metode pengecoran konvensional yaitu menggunakan bekisting. Jumlah benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* sebanyak 3 buah dan

plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* sebanyak 2 buah. Jadi total benda uji berjumlah 5 buah.

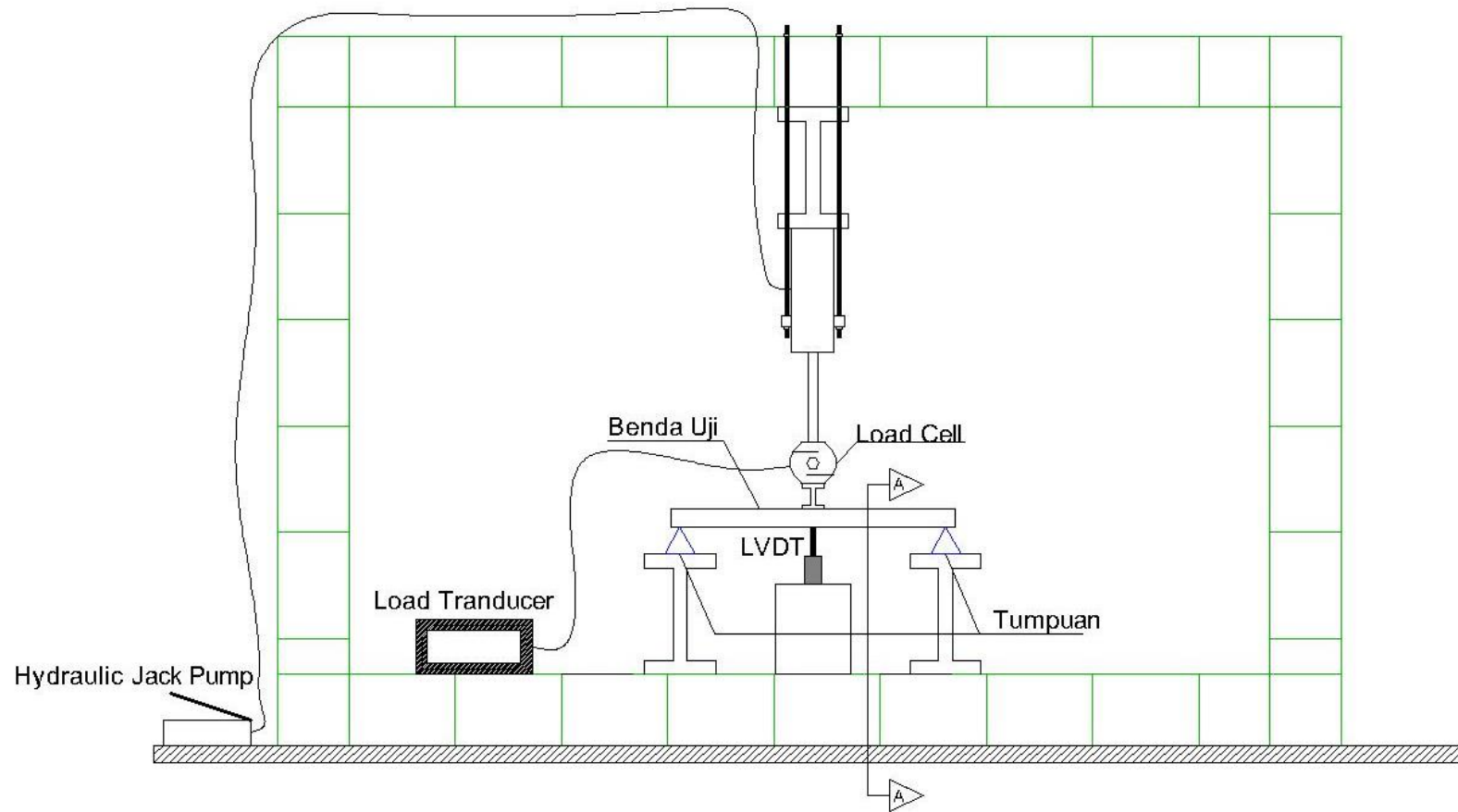


Gambar 3.2 Tampak Atas Benda Uji

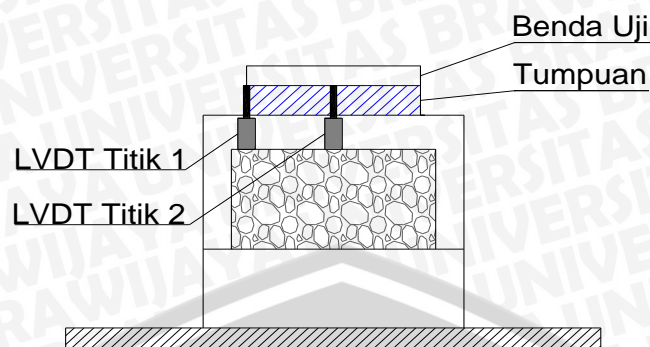


Gambar 3.3 Detail Potongan Melintang Benda Uji

Setting up untuk pengujian plat beton dilakukan setelah benda uji dilakukan curing selama 7 hari dan telah berumur 28 hari. Sebelum pengujian dilakukan, harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap skala pembacaan beban. Benda uji diberikan beban hingga mencapai keruntuhan, kemudian dilakukan pengambilan data meliputi besar beban, nilai lendutan, dan dimensi plat.



Gambar 3.4 Setting Up Pengujian



Gambar 3.5 Posisi LVDT pada Pengujian Plat (Potongan A-A)

3.1 Metode Analisis Data

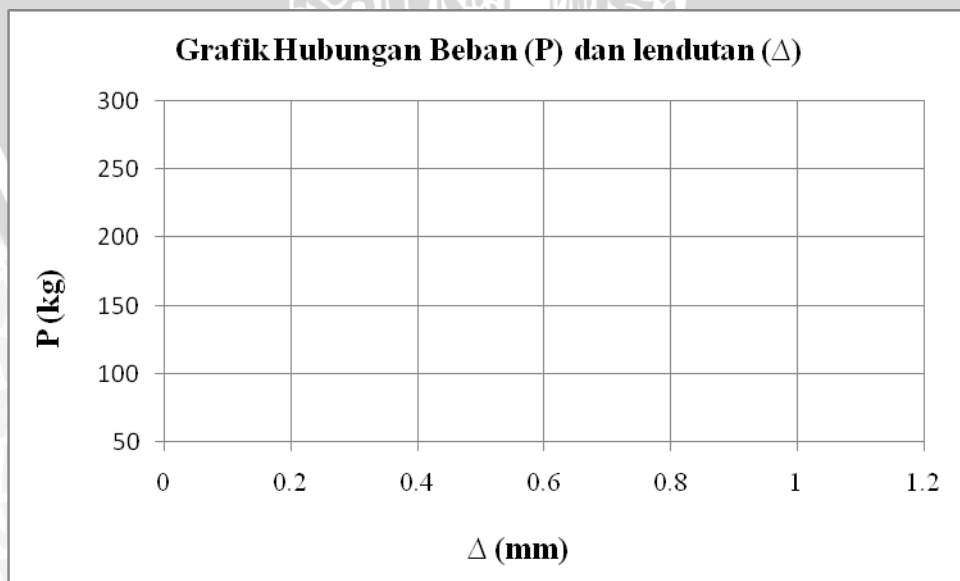
Setelah diperoleh data hasil percobaan secara studi literatur dan pengujian benda uji, maka dilakukan analisis data mengenai perbandingan kekakuan plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dengan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*. Dari hasil pengujian plat di laboratorium ini akan didapatkan nilai beban, lendutan, berat, dan dimensi dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* maupun plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* ke dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.1 Rencana Form Data Benda Uji

Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji :
 Tanggal pengujian :
 Tempat Pengujian :
 Komposisi benda uji :
 Ukuran Benda Uji :
 Umur Benda Uji :
 Berat Benda Uji :

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2



Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Defleksi (Δ)



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Plat

4.1.1 Pengujian Beton Segar

Beton segar yaitu beton yang baru saja dikeluarkan dari mesin pengaduk atau molen. Pengujian beton segar dilakukan dengan cara pengujian slump. Pengujian slump ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton. Dari hasil pengujian slump ini didapatkan nilai slump. Nilai slump diperoleh dari besarnya penurunan beton segar yang dimasukkan ke dalam cetakan logam. Cara memasukan beton segar ke dalam cetakan ini yaitu dengan mengisi tiap 1/3 lapisan, dan tiap lapisannya ditusuk-tusuk sebanyak 25 tusukan. Berikut ini adalah data pengujian slump:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Slump

SAMPEL	NILAI SLUMP
1	13
2	7
3	10
Rata-rata	10

Sumber : Data Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel tersebut didapat rata-rata nilai slump sebesar 10 cm. Hasil dari pengujian slump ini sesuai dengan PBI 1971.

Tabel 4.2 Nilai Standar Slump

	maks	min
-dinding	12,5	5
-pelat pondasi		
-pondasi telapak bertulang		
-pondasi telapak tidak bertulang	9	2,5
-kaison		
-konstruksi di bawah tanah		
-pelat	15	7,5
-balok		
-kolom		
-dinding		
pengerasan jalan	7,5	5
pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber : PBI 1971

4.1.2 Pengujian Tegangan *Pull-out* Bambu

Pada pengujian tegangan *pull-out* ini digunakan tulangan bambu dengan dimensi penampang 6x6 mm dengan panjang tulangan yang masuk ke dalam beton 220 mm dan campuran beton sesuai dengan ketentuan *mix design*.



Gambar 4.1 Pengujian Tegangan *Pull-out* Bambu

Setelah dilakukan pengujian tegangan *pull-out* didapat gaya *pull-out* yang terjadi sebesar 1,5 kN. Sehingga dapat dihitung tegangan lekat tulangan bambunya.

$$\mu = \frac{P}{A}$$

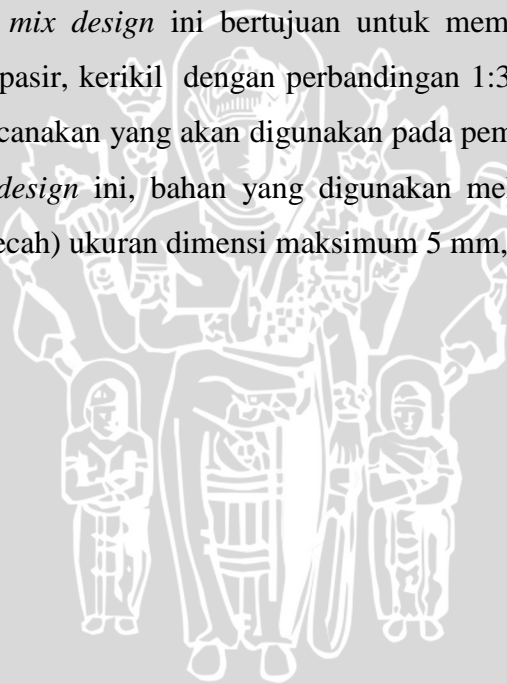
$$\mu = \frac{1,5 \cdot 10}{4 \cdot 6 \cdot 220}$$

$$\mu = 0,28409 \text{ mPa}$$

Sehingga didapat tegangan *pull-out* dari tulangan bambu sebesar 0,28409 mPa.

4.1.3 Perencanaan *Mix Design* Beton

Pada perencanaan *mix design* ini bertujuan untuk membuat campuran beton dengan campuran semen, pasir, kerikil dengan perbandingan 1:3:1 agar sesuai dengan mutu yang telah direncanakan yang akan digunakan pada pembuatan benda uji plat. Dalam perencanaan *mix design* ini, bahan yang digunakan meliputi semen Portland (PC) tipe I, kerikil (batu pecah) ukuran dimensi maksimum 5 mm, pasir, dan air.



Tabel 4.3 Perencanaan Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)

Uraian	Tabel/Grafik Perhitungan	Nilai
Kuat tekan yang diisyaratkan	Ditetapkan	20 Mpa
Deviasi standart	Diketahui	7 Mpa
Nilai tambah (margin)	Ditetapkan	12 Mpa
Kuat Tekan rata-rata target	(1)+(3)	32 Mpa
Jenis semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
Jenis Agregat : Kasar	Ditetapkan	Batu pecah
Jenis Agregat : Halus	Ditetapkan	Pasir alami
Faktor air semen bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	-
Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0.6
Slump	Ditetapkan	60-180 mm
Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	10 mm
Kadar air bebas	Tabel 6	233.33 kg/m ³
Kadar semen	(11)/(8)	388.89 kg/m ³
Kadar semen maksimum	Ditetapkan	-
Kadar semen minimum	Tabel 3	325 kg/m ³
Faktor air semen penyesuaian	-	-
Gradasi agregat halus	Grafik 3 – 6	zona 1
Gradasi agregat kasar	Tabel 7, Grafik 7 -12	zona 3
Persen agregat halus	Grafik 13 -15	65%
Berat jenis relatif (ssd)	Diketahui	2.728 kg/m ³
Berat isi beton	Grafik 16	2275 kg/m ³
Kadar agregat gabungan	(20)-(12)-(11)	1652.778 kg/m ³
Kadar agregat halus	(18)x(21)	1074.306 kg/m ³
Kadar agregat kasar	(21)-(22)	578.472 kg/m ³

Tabel 4.4 Perbandingan Campuran Pada Perencanaan *Mix Design*

banyaknya bahan (teoritis)	semen (kg)	air kg (lt)	agregat halus (kg)	agregat kasar (kg)
Tiap m3 dengan ketelitian 5 kg (teoritis)	325	233.33	975	325
Tiap campuran uji 0.08165 m3	21.857	15.692	65.570	21.857
	22	16	66	22
Tiap campuran uji 0.24495 m3	79.610	57.156	238.829	79.610
	80	57	239	80
Tiap m3 dengan ketelitian 5 kg (aktual)	325	233.333	975.000	325.000
Tiap campuran uji 0.08165 m3	21.857	15.692	65.570	21.857
	22	16	66	22
Tiap campuran uji 0.24495 m3	79.610	57.156	238.829	79.610
	80	57	239	80
Proporsi teoritis	1	0.718	3	1
Proporsi aktual	1	0.718	3	1
Proporsi teoritis + 15%	25.135	18.046	75.405	25.135
	25	18	75	25

Berdasarkan hasil perhitungan peencanaan *mix design* tersebut didapatkan nilai berat campuran untuk 5 buah plat yaitu semen sebesar 25 kg, air sebesar 18 kg, agregat halus sebesar 75 kg, dan agregat kasar sebesar 25 kg.

4.1.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pembuatan benda uji kuat tekan beton ini diambil 3 sampel dari setiap kali pengecoran. Pada pembuatan 5 buah benda uji plat dilakukan satu kali pengecoran, sehingga diambil 3 sampel untuk dilakukan pengujian kuat tekan beton. Sampel uji kuat tekan beton berbentuk silinder dengan dimensi diameter 8 cm dan tinggi 16 cm.

Proses perawatan atau *curing* benda uji silinder ini dilakukan dengan direndam selama 14 hari setelah 1 hari dilepas dari bekistingnya. Kemudian diangkat dan didiamkan hingga mencapai umur beton 28 hari. Kemudian dilakukan pengujian tekan.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

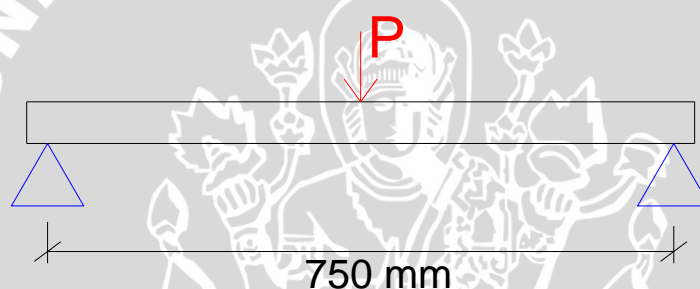
No.	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Berat (kg)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (28 hari)	
				kN	kg	(kg/cm ²)	MPa
1	A	50.265	1.70	107	10700	212.87	21.29
2	B	50.265	1.70	136	13600	270.56	27.06
3	I	50.265	1.72	110	11000	218.84	21.88
Kuat Tekan Beton Rata-Rata ($f'c$)						234.09	23.41

Dari hasil pengujian kuat tekan beton tersebut didapat nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 23,41 MPa, sedangkan mutu beton yang disyaratkan pada *mix design* sebesar 20 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa beton yang digunakan telah sesuai dengan persyaratan minimum pada *mix design*. Selanjutnya nilai kuat tekan beton tersebut digunakan dalam analisis perhitungan beban maksimum (P_u) teoritis yang dapat ditahan oleh plat.

4.2 Analisa Perhitungan Beban Maksimum (P_u) Teoritis

4.2.1 Pemodelan Struktur

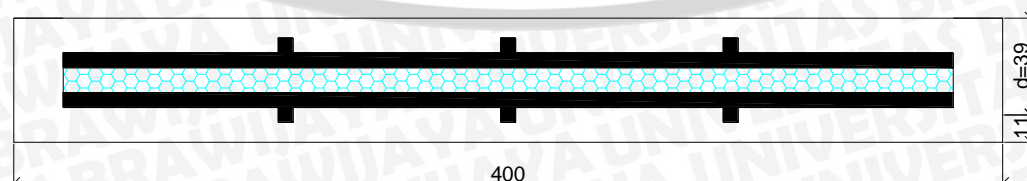
Sebelum dilakukan analisa perhitungan beban maksimum (P_u) secara teoritis harus dilakukan pemodelan struktur terlebih dahulu. Plat diasumsikan sebagai gelagar balok dengan tumpuan sendi sendi. Beban yang bekerja diasumsikan sebagai beban vertikal terpusat di tengah bentang.



Gambar 4.2 Pemodelan Pembebanan Struktur

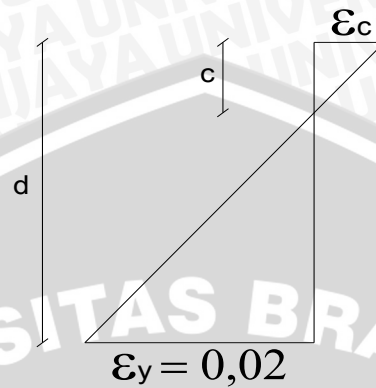
4.2.2 Kapasitas Lentur

Perhitungan beban maksimum secara teoritis dilakukan dengan cara analisis penampang segiempat beton bertulang sehingga akan didapatkan kapasitas lenturnya. Plat diasumsikan sebagai balok bertulangan tunggal yakni tarik saja. Karena dianggap tulangan tekan hanya berpengaruh sangat kecil dalam menambah kuat tekan dari plat tersebut. Sehingga berlaku keseimbangan gaya, yaitu gaya tarik = gaya tekan. Di mana gaya tarik ($tension = T$) diberikan oleh baja tulangan tarik, sedangkan gaya tekan ($compression = C$) diberikan oleh beton didaerah tekan ($compression\ concrete = C_c$).



Gambar 4.3 Detail Penampang

Pada perhitungan diasumsikan baja tarik sudah mengalami leleh sehingga $f_s = f_y$. Ditentukan ϵ_y (regangan bambu) = 0,02.



Gambar 4.4 Diagram Tegangan Penampang

Diketahui,

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d = 39 \text{ mm}$$

$$A_s = 3 \times 6 \times 6 = 108 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = 23,41 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 22740,42 \text{ MPa}$$

$$f_y = 180 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = 0,02$$

Penyelesaian

- Asumsi beton belum mencapai regangan batasnya

Persamaan keseimbangan gaya

$$T = Cc$$

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

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot \epsilon_c \cdot E_c \cdot a \cdot \beta_1 \cdot b$$

di mana

$$\epsilon_c = \frac{c}{d - c} \cdot \epsilon_b$$

$$\epsilon_c = \frac{0,02 \cdot c}{39 - c}$$

sehingga



$$108.180 = 0,85 \cdot \frac{0,02 \cdot c}{39 - c} \cdot 22740,42 \cdot c \cdot 0,85 \cdot 400$$

$$19440 = \frac{131439,63 \cdot c^2}{39 - c}$$

$$131439,63c^2 + 19440c - 758160 = 0$$

$$c^2 + 0,15c - 5,77 = 0$$

dengan menggunakan rumus

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2}$$

didapat $c_1 = 2,33$ mm dan $c_2 = -2,48$ mm, maka digunakan $c = 2,33$ mm. Sehingga dapat dihitung nilai ϵ_c dan a .

$$\epsilon_c = \frac{0,02 \cdot 2,33}{39 - 2,33}$$

$$\epsilon_c = 0,0012708$$

Maka,

$$a = c \cdot \beta_1$$

$$a = 2,33 \cdot 0,85$$

$$a = 1,9805$$

Kemudian dapat dihitung momen nominalnya

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

$$Mn = 108.180 \left(39 - \frac{1,9805}{2} \right)$$

$$Mn = 738909,54 \text{ Nmm}$$

Sehingga beban maksimum (P_u) teoritisnya

$$P_u = \frac{738909,54 \cdot 4}{750}$$

$$P_u = 3940,85 \text{ N} = 394,08 \text{ kg}$$

- Asumsi beton telah mencapai regangan batasnya

Persamaan keseimbangan gaya

$$T = C_c$$

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

$$108.180 = 0,85 \cdot 23,41 \cdot a \cdot 400$$

$$19440 = 7959,4 \cdot a$$

$$a = 2,44$$

kemudian dapat dihitung nilai c

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

$$c = \frac{2,44}{0,85}$$

$$c = 2,87 \text{ mm}$$

Kemudian dapat dihitung momen nominalnya

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

$$M_n = 108.180 \left(39 - \frac{2,44}{2} \right)$$

$$M_n = 734443,2 \text{ Nmm}$$

Sehingga beban maksimum (P_u) teoritisnya

$$P_u = \frac{734443,2 \cdot 4}{750}$$

$$P_u = 3917,03 \text{ N} = 391,7 \text{ kg}$$

Beton merupakan material yang getas sehingga apabila beton mengalami keruntuhan dapat terjadi secara tiba-tiba. Oleh karena itu sangat direkomendasikan hampir pada semua perencanaan untuk melakukan perencanaan beton bertulang yang bersifat *under-reinforced* agar dapat diketahui tanda-tanda keruntuhan yaitu defleksi yang besar sebelum mengalami keruntuhan yang sesungguhnya.

Suatu perencanaan beton bertulang agar memenuhi persyaratan daktilitas dan penulangan maksimum yang diizinkan harus dihitung nilai $A_s < A_{sb}$ atau $\rho < \rho_b$.

Diketahui,

$$f_y = 180 \text{ Mpa} = 26124,82 \text{ psi}$$

$$f'_c = 23,41 \text{ Mpa} = 3397,678 \text{ psi}$$

$$b = 400 \text{ mm} = 15,748 \text{ in}$$

$$d = 39 \text{ mm} = 1,53543 \text{ in}$$

$$A_s = 108 \text{ mm}^2 = 0,1674 \text{ in}^2$$

Penyelesaian

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{0,1674}{15,748 \cdot 1,53543}$$

$$\rho = 0,00692$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{87000}{87000 + f_y}$$

$$\rho_b = 0,85 \frac{0,85 \cdot 3397,678}{26124,82} \cdot \frac{87000}{87000 + 26124,82}$$

$$\rho_b = 0,0723$$

$$\rho < \rho_b \text{ (OK!)}$$

$$A_{sb} = \rho_b \cdot b \cdot d$$

$$A_{sb} = 0,0723 \cdot 15,748 \cdot 1,53543$$

$$A_{sb} = 1,748$$

$$A_s < A_{sb} \text{ (OK!)}$$

Dengan demikian penampang ini bersifat *under-reinforced*. Kemudian dapat dihitung momen tahanan nominal dari penampang tersebut.

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

$$a = \frac{0,1674 \cdot 26124,82}{0,85 \cdot 3397,678 \cdot 15,748}$$

$$a = 0,096$$

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

$$M_n = 0,1674 \cdot 26124,82 \left(1,53543 - \frac{0,096}{2} \right)$$

$$M_n = 6504,97 \text{ in} - lb = 542,08 \text{ ft} - lb = 735014 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{735014 \cdot 4}{750}$$

$$P_n = 3920,07 \text{ N} = 392,01 \text{ kg}$$

Jadi beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat sebesar 391,7 kg untuk kedua jenis plat baik tanpa *styrofoam* maupun dengan lapis *styrofoam*. Karena diasumsikan plat dengan lapis *styrofoam* hanya berpengaruh sangat kecil pada kapasitas lenturnya.

4.3 Berat Volume Plat Beton

Dalam melakukan pengujian berat volume plat beton ini diperlukan beberapa data yang akan diukur. Data-data tersebut meliputi berat, panjang, lebar, dan tinggi plat. Proses pengambilan data tersebut dilakukan setelah plat beton tersebut berumur 28 hari yakni pada saat plat beton tersebut telah siap untuk diuji beban vertikal. Pengukuran berat plat beton menggunakan timbangan, sedangkan pengukuran dimensi plat menggunakan mistar.

4.3.1 Hasil Pengukuran Plat Beton

Setelah dilakukan pengukuran terhadap plat beton, data yang telah didapatkan direkap dan dipresentasikan dalam bentuk tabel berikut ini:

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Plat Beton

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	TS-1	39.06	0.806	0.403	0.053
2	TS-2	38.06	0.807	0.402	0.055
3	S-1	34.86	0.814	0.395	0.055
4	S-2	34.76	0.809	0.400	0.056
5	S-3	34.82	0.805	0.399	0.057

Keterangan :

TS-1 = Benda uji tanpa *styrofoam* ke-1

TS-2 = Benda uji tanpa *styrofoam* ke-2

S-1 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* ke-1

S-2 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* ke-2

S-3 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* ke-3

4.3.2 Analisa Berat Volume Plat Beton

Analisa berat volume plat beton dapat dilakukan setelah didapatkan data berat dan dimensi dari plat beton tersebut. Analisa berat volume ini meliputi dua macam yaitu analisa berat volume untuk plat beton tanpa lapis *styrofoam* dan berat volume plat beton dengan lapis *styrofoam*. Perhitungan berat volume dari plat tersebut disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 4.7 Analisa Berat Volume Plat Beton Tanpa Lapis *Styrofoam*

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	TS-1	39.06	0.806	0.403	0.053	0.017215	2268.9048
2	TS-2	38.06	0.807	0.402	0.055	0.017843	2133.0769
Berat Volume Rata-Rata							2200.9909

Tabel 4.8 Analisa Berat Volume Plat Beton Dengan Lapis *Styrofoam*

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	S-1	34.86	0.814	0.395	0.055	0.017684	1971.2567
2	S-2	34.76	0.809	0.400	0.056	0.018122	1918.1529
3	S-3	34.82	0.805	0.399	0.057	0.018308	1901.8889
Berat Volume Rata-Rata							1930.4328

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata nilai berat volume pada plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* sebesar 2200,9909 kg/m³, sedangkan rata-rata nilai berat volume pada plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* sebesar 1930,4328 kg/m³. Hal ini membuktikan bahwa berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* itu lebih kecil daripada berat volume pada plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.

4.4 Pengujian Plat Beton Terhadap Beban Vertikal

Pelaksanaan pengujian plat beton terhadap beban vertikal ini sesuai dengan prosedur yang telah dituliskan pada bab III. Plat beton yang telah berumur 28 hari dipersiapkan dan diletakan di atas tumpuan. Kemudian dilakukan *setting* peralatan pengujian. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah lendutan yang terjadi pada plat yang didapat dari bacaan LVDT dan beban yang bekerja.

4.4.1 Hasil Pengujian Plat Beton Terhadap Beban Vertikal

Setelah dilakukan pengujian plat beton terhadap beban vertikal, didapatkan data lendutan dari beban vertikal yang bekerja pada plat beton. Kemudian dilakukan perbandingan antara selisih hasil perhitungan beban maksimum aktual dengan teoritis. Perbandingan selisih tersebut dapat dihitung dengan:

$$\rho_{p \text{ maks}} = \frac{P_{\text{aktual}} - P_{\text{teoritis}}}{P_{\text{aktual}}}$$

Tabel 4.9 Perbandingan antara Beban Maksimum Teoritis dengan Hasil Eksperimen

Benda uji	Beban Maks. Aktual (kg)	Rata-rata (kg)	Beban Maks. Teoritis (kg)	Perbandingan Selisih
TS-1	670	650	391.7	0.4154
TS-2	630		391.7	0.3783
S-1	550	546.667	391.7	0.2878
S-2	570		391.7	0.3128
S-3	520		391.7	0.2467

Keterangan :

TS-1 = Benda uji tanpa *styrofoam* ke-1

TS-2 = Benda uji tanpa *styrofoam* ke-2

S-1 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* ke-1

S-2 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* ke-2

S-3 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* ke-3

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton tanpa *styrofoam* adalah sebesar 650 kg, sedangkan rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton dengan lapis *styrofoam* adalah sebesar 546,667 kg. Sehingga dapat diketahui bahwa plat beton tanpa *styrofoam* dapat menahan beban lebih besar dibanding plat beton dengan lapis *styrofoam*. Sesuai dengan prinsip pembuatan beton ringan di mana beton tersebut memiliki berat volume yang lebih kecil namun dapat menahan beban yang tidak jauh berbeda dengan beton normal. Hal ini dikarenakan beton normal mempunyai momen inersia penampang beton yang lebih besar daripada beton dengan lapis *styrofoam*. Sehingga beton normal mencapai kapasitas yang lebih besar dalam menahan beban yang terjadi. Namun perbandingan selisih antara beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton tanpa *styrofoam* dengan beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton dengan lapis

styrofoam tidak begitu besar, yakni sebesar 15,897%. Nilai tersebut dapat dihitung dari rumus:

$$\rho_p = \frac{P(TS) - P(S)}{P(TS)} \times 100\%$$

Kemudian dilakukan perbandingan lendutan yang terjadi dari hasil penelitian dengan lendutan berdasarkan perhitungan teoritis. Lendutan dari hasil penelitian atau eksperimen didapat dari pembacaan LVDT pada saat beban maksimum terjadi pada plat. Sedangkan lendutan berdasarkan perhitungan teoritis dihitung dengan cara memasukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat dan modulus elastisitas plat dari pengujian ke dalam rumus berikut ini:

$$\Delta = \frac{P \cdot l^3}{48EI}$$

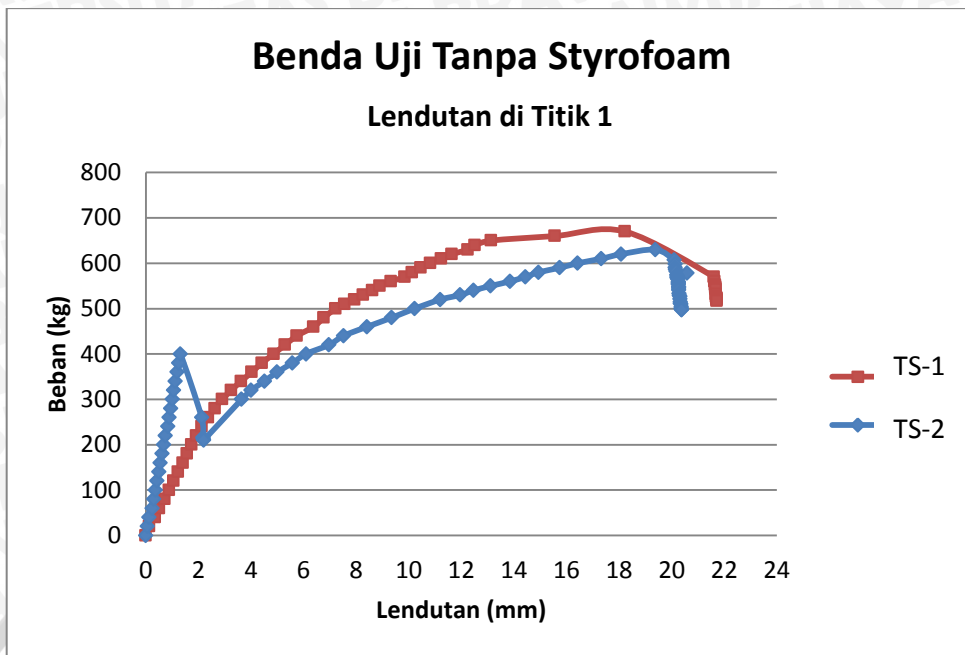
Hasil perhitungan lendutan yang terjadi berdasarkan perhitungan teoritis dibandingkan dengan lendutan dari hasil pembacaan LVDT. Nilai perbandingan tersebut dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho_{\Delta} = \frac{P \Delta \text{ aktual} - P \Delta \text{ teoritis}}{P \Delta \text{ aktual}}$$

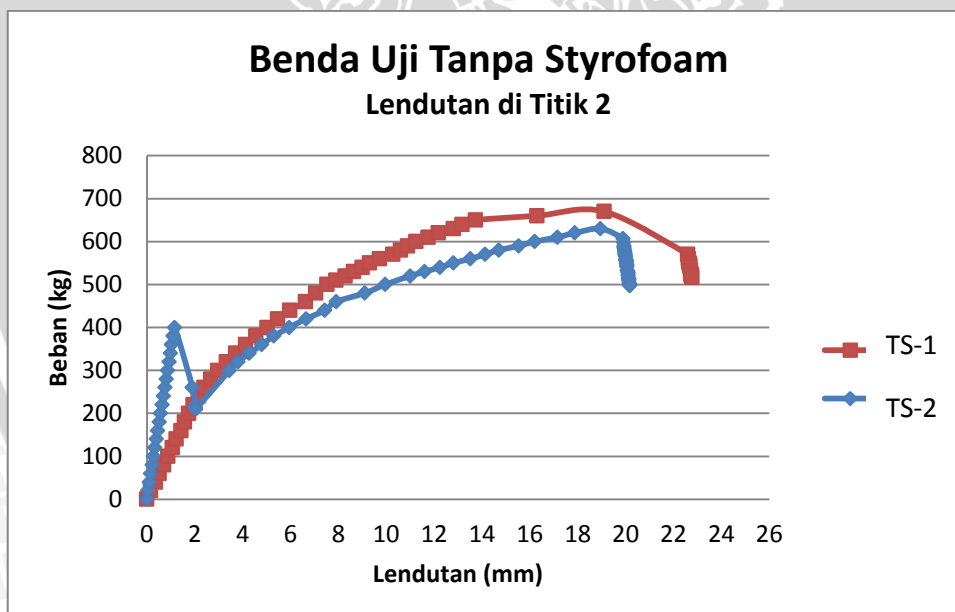
Tabel 4.10 Perbandingan antara Lendutan Maksimum Hasil Eksperimen dengan Teoritis

Benda uji	Beban Maks. (kg)	Lendutan Aktual Rata-rata (mm)	Lendutan Teoritis (mm)	Perbandingan Selisih
TS-1	670	18.66	3.035377067	0.837332419
TS-2	630	19.165	2.854160526	0.851074327
S-1	550	24.44	2.729493239	0.888318607
S-2	570	20.175	2.828747538	0.859789465
S-3	520	13.32	2.580611789	0.806260376

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata lendutan aktual untuk plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 18,91265 mm dan untuk plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 19,312 mm. Sedangkan rata-rata lendutan secara teoritis untuk plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 2,94477 mm dan untuk plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 2,71295 mm.



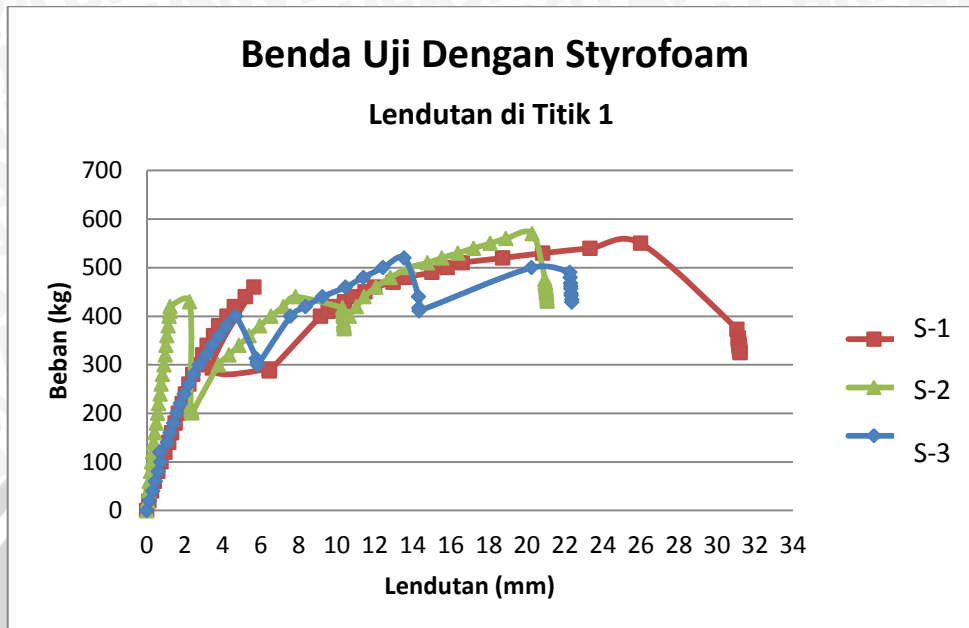
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Tanpa Styrofoam



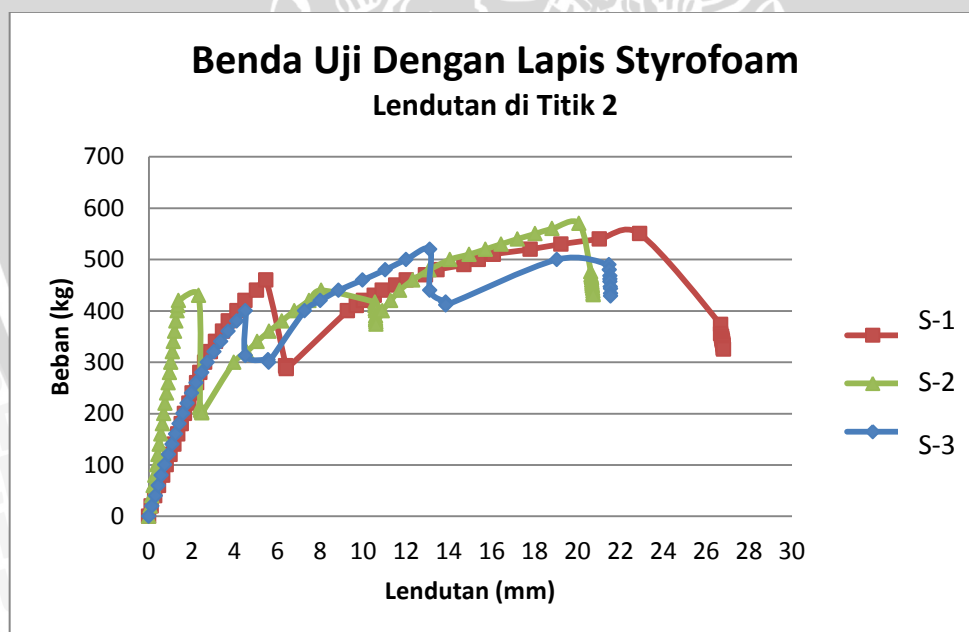
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Tanpa Styrofoam

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji tanpa styrofoam. Benda uji TS-1 dapat menahan beban maksimum sebesar 670 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif kecil. Sedangkan

pada benda uji TS-2 dapat menahan beban maksimum sebesar 630 kg dan sudut kemiringan awal grafik sedikit lebih besar dari benda uji TS-2.



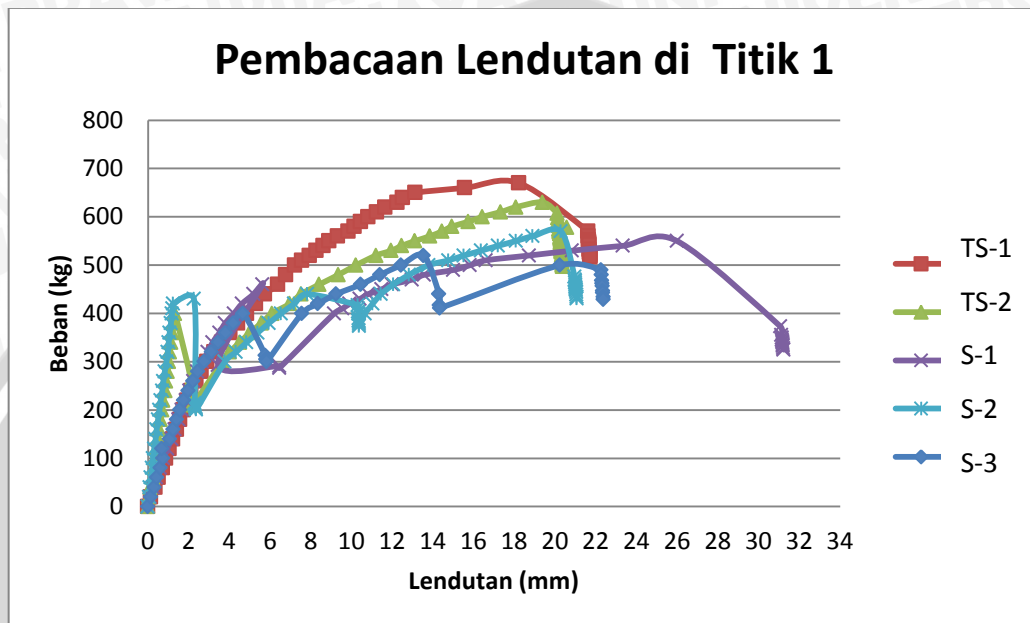
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Dengan Styrofoam



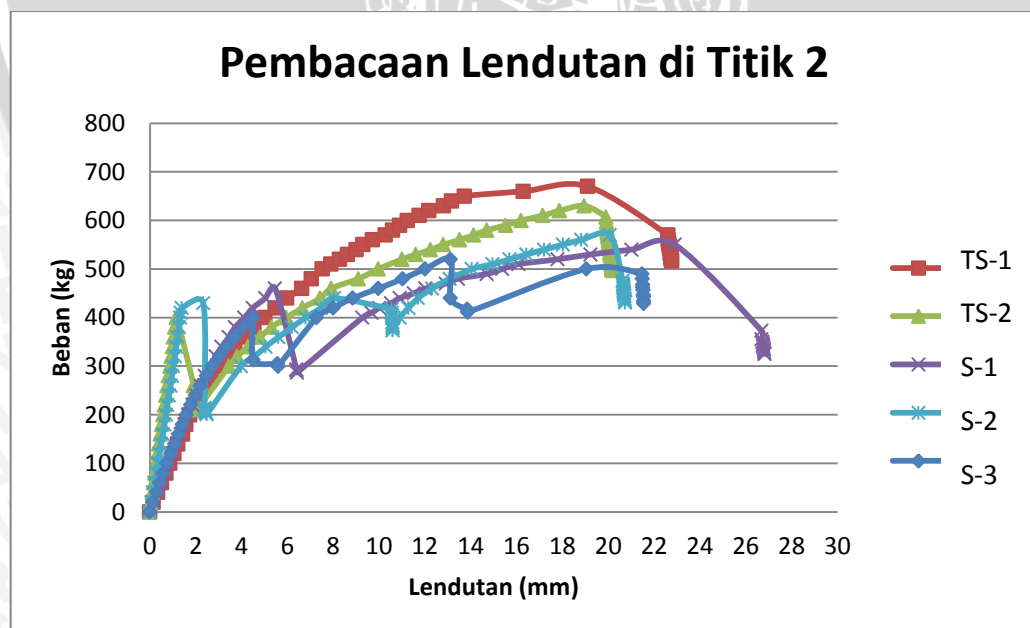
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Dengan Styrofoam

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji dengan lapis styrofoam. Benda uji S-1 dapat menahan beban maksimum sebesar 550 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih besar

dibandingkan dengan dua plat yang lainnya. Benda uji S-2 dapat menahan beban maksimum sebesar 570 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih kecil dibandingkan dengan plat S-1. Benda uji S-3 dapat menahan beban maksimum sebesar 520 kg dan sudut kemiringan awal grafik ini hampir sama dengan benda uji S-2. Kemudian grafik dari kelima benda uji disajikan dalam grafik di bawah ini :



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2

4.5 Analisa Kekakuan Plat

Pada dasarnya hubungan beban dan lendutan dari balok beton bertulang dapat diidealisasikan menjadi bentuk tiga garis lurus. Hubungan tiga garis lurus ini meliputi tiga tahap sebelum terjadinya kondisi runtuh. Tiga tahap tersebut antara lain tahap praretak di mana elemen struktural masih belum retak, tahap pascaretak di mana elemen struktural sudah mengalami retak namun masih dapat ditoleransi, dan tahap pasca-*serviceability* di mana tulangan tarik pada elemen struktural tersebut sudah mencapai tegangan leleh. Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan lendutan pada saat plat beton dalam keadaan elastis penuh atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan lendutan pada tahap praretak.

4.5.1 Perhitungan Kekakuan Secara Teoritis

Pada tahap praretak dari grafik hubungan antara beban lendutan merupakan garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Kekakuan plat beton ini dapat diestimasi dengan menggunakan teori sistem komposit dengan menggunakan modulus elastisitas dari beton (E_c), modulus elastisitas bambu (E_{bambu}), dan momen inersia penampang komposit.

Untuk menghitung momen inersia penampang (I) diperlukan peninjauan terhadap luas tulangan (A_s). Pada dasarnya perhitungan momen inersia penampang pada sistem komposit dilakukan dengan cara mengasumsikan penampang menjadi satu jenis material. Pemilihan jenis material penampang ini berdasarkan nilai modulus elastisitas dari material penyusun kompositnya. Karena besar modulus elastisitas dari beton (E_c) lebih besar dari modulus elastisitas tulangan (E_{bambu}), maka dilakukan perhitungan momen inersia penampang dengan cara mengganti luas beton dengan luas bambu.

Diketahui,

$$A_s = 108 \text{ mm}^2$$

$$d = 39 \text{ mm}$$

$$E_{\text{bambu}} = 18000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 22740,42 \text{ Mpa}$$

Penyelesaian

$$n = \frac{E_c}{E_{\text{bambu}}}$$

$$n = \frac{22740,42}{18000}$$

$$n = 1,263$$

$$A = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s$$

$$A = 400 \cdot 50 + (1,263 - 1) \cdot 108$$

$$A = 20028,404 \text{ mm}^2$$

Dimensi penampang baru dengan asumsi tinggi tetap 50 mm akan menjadi

$$A = b \cdot h$$

$$20028,404 = b \cdot 50$$

$$b = 400,568 \text{ mm}$$

Sehingga momen inersia penampang plat beton tanpa lapis *styrofoam* (I_1) sebesar:

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

$$I_1 = \frac{1}{12} 400,568 \cdot 50^3$$

$$I_1 = 4172583,333 \text{ mm}^4$$

Sedangkan momen inersia penampang plat beton dengan lapis *styrofoam* (I_2) sebesar:

$$I_{\text{styrofoam}} = \frac{1}{12} 360 \cdot 10^3$$

$$I_{\text{styrofoam}} = 30000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_1 - I_{\text{styrofoam}}$$

$$I_2 = 4172583,333 - 30000$$

$$I_2 = 4142583,333 \text{ mm}^4$$

Kemudian kekakuan dapat dihitung dengan memasukkan nilai modulus elastisitas dan momen inersia penampang ke dalam rumus defleksi dengan kondisi tumpuan sendi-sendi dan beban terpusat di tengah bentang. Nilai kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* adalah:

$$\Delta = \frac{P \cdot l^3}{48EI_1}$$

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{48EI_1}{l^3}$$

$$k_1 = \frac{48.18000.4172583,333}{750^3}$$

$$k_1 = 8545,451 \text{ N/mm} = 854,545 \text{ kg/mm}$$

Dan nilai kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar:

$$\Delta = \frac{P \cdot l^3}{48EI_2}$$

$$k_2 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_2 = \frac{48EI_2}{l^3}$$

$$k_2 = \frac{48.18000.4142583,333}{750^3}$$

$$k_2 = 8484,011 \text{ N/mm} = 848,401 \text{ kg/mm}$$

berdasarkan hasil perhitungan teoritis, didapatkan nilai kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 854,545 kg/mm sedangkan nilai kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 848,401 kg/mm. Kemudian dihitung perbandingan selisih antara kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* dengan kekakuan plat beton lapis *styrofoam* menggunakan rumus:

$$\rho_k = \frac{k_1 - k_2}{k_2} \times 100\%$$

$$\rho_k = \frac{854,545 - 848,401}{854,545} \times 100\%$$

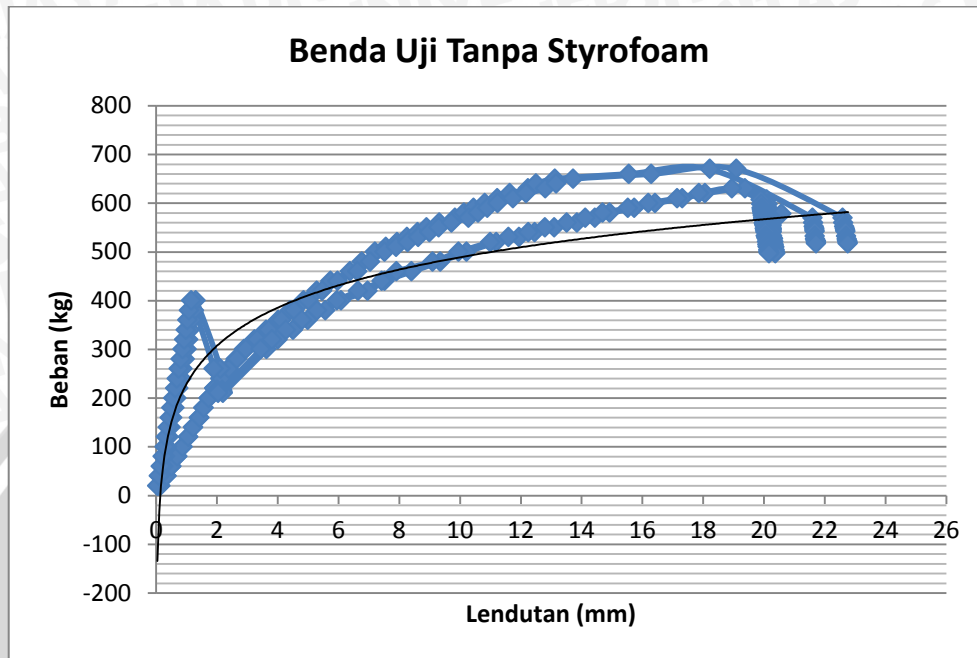
$$\rho_k = 0,72 \%$$

Sehingga didapat nilai perbandingan selisih antara kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* dengan kekakuan plat beton lapis *styrofoam* sebesar 0,72%

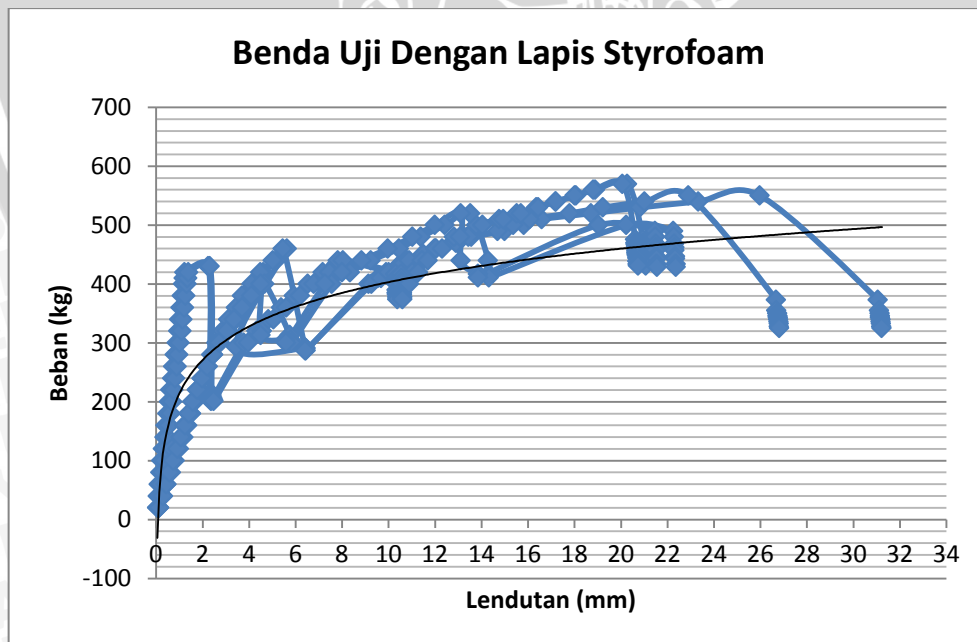
4.5.2 Perhitungan Kekakuan Secara Eksperimen

Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan lendutan pada saat plat beton dalam keadaan elastis penuh atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan

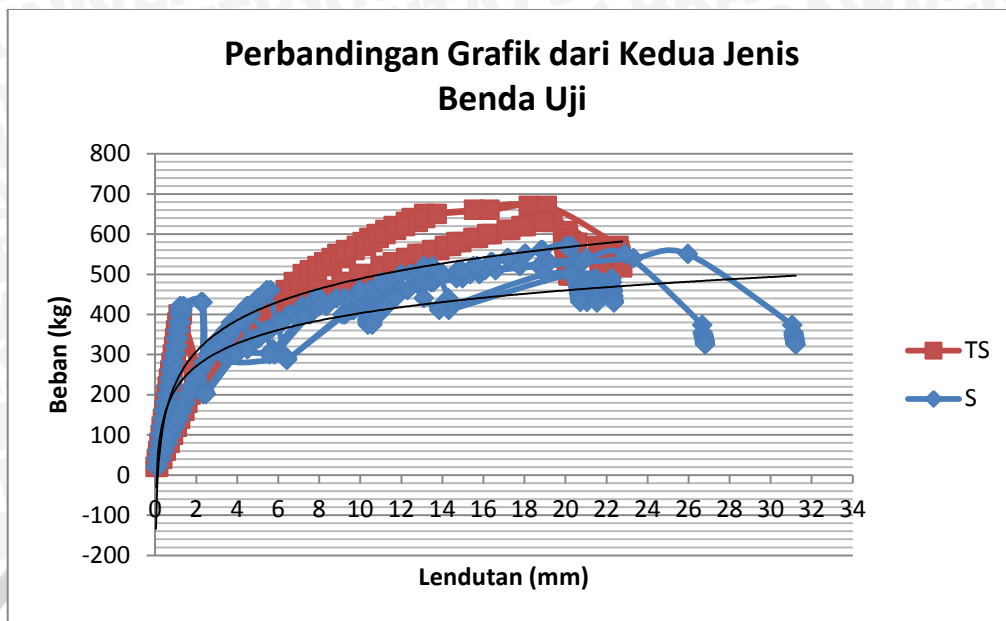
garis grafik hubungan beban dan lendutan pada tahap praretak. Dari hasil perhitungan kekakuan plat beton berdasarkan hasil penelitian dipresentasikan dalam bentuk tabel berikut:



Gambar 4.11 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Tanpa Styrofoam



Gambar 4.12 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Dengan Lapis Styrofoam



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Regresi Hubungan Beban dan Lendutan dari Kedua Jenis Benda Uji

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan regresi hubungan beban dan lendutan dari kedua jenis benda uji. Kurva regresi logaritma pada grafik tersebut didapatkan dari program *Microsoft Excel* dengan menggunakan *trendline*. Kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji tanpa *styrofoam* sedikit lebih besar daripada kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji dengan lapis *styrofoam*. sehingga berdasarkan grafik tersebut dapat dinyatakan kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* sedikit lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam*.

Tabel 4.11 Perbandingan Perhitungan Kekakuan Plat Berdasarkan Hasil Eksperimen dan Perhitungan Teoritis

Nama Benda Uji	P Maks. Aktual (kg)	Kekakuan (kg/mm)	Rata-Rata Kekakuan Aktual (kg/mm)	Kekakuan Teoritis (kg/mm)
TS-1	670	116.64	220.730389	948,85
TS-2	630	324.8164		
S-1	550	133.2226	201.502609	942,023
S-2	570	335.9391		
S-3	520	135.3461		

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* adalah sebesar 220,7304 kg/mm, sedangkan rata-rata kekakuan plat beton

dengan lapis *styrofoam* adalah sebesar 201,5026 kg/mm. Sehingga dapat diketahui bahwa plat beton tanpa *styrofoam* memiliki kekakuan lebih besar dibanding plat beton dengan lapis *styrofoam*. namun perbandingan selisih antara kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* dengan kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* tidak begitu besar, yakni sebesar 8,711%.

Nilai kekakuan plat beton dari hasil perhitungan teoritis memiliki nilai yang lebih besar daripada dari hasil pengujian eksperimen. Berdasarkan hasil perhitungan teoritis nilai kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 854,545 kg/mm dan nilai kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 848,401 kg/mm. Sedangkan berdasarkan hasil uji eksperimen nilai kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 220,730389 kg/mm dan nilai kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 201,502609 kg/mm. Hal ini disebabkan pada perhitungan struktur plat ini dianggap plat bersifat monolit, sedangkan pada pelaksanaan eksperimen struktur plat ini tidak dapat dipastikan bersifat monolit. Selain itu *styrofoam* memiliki kekurangan pada lekatan antara *styrofoam* dengan beton. Sehingga mengakibatkan adanya selip antara beton dengan *styrofoam*. Oleh karena itu perlu digunakan perlakuan khusus pada *styrofoam* atau menggunakan *styrofoam* jenis tertentu yang bersifat melekatkan beton sehingga dapat menambah daya dukung dari plat itu sendiri.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan mengenai kekakuan dan berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*, yaitu sebagai berikut:

1. Plat beton tanpa lapis *styrofoam* dapat menahan beban lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam*. Hal ini dapat dibuktikan dari rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton tanpa lapis *styrofoam* adalah sebesar 650 kg, sedangkan rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton dengan lapis *styrofoam* adalah sebesar 546,667 kg.
2. Lendutan yang terjadi pada plat beton tanpa lapis *styrofoam* lebih kecil daripada plat beton dengan lapis *styrofoam*. Hal ini dapat diketahui dari rata-rata lendutan aktual untuk plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 18,91265 mm dan untuk plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 19,312 mm
3. Plat beton dengan lapis *styrofoam* memiliki nilai berat volume yang lebih kecil 12,292% daripada plat beton tanpa lapis *styrofoam*. Hal ini dapat dibuktikan dari rata-rata nilai berat volume pada plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 2200,9909 kg/m³, sedangkan rata-rata nilai berat volume pada plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 1930,4328 kg/m³.
4. Plat beton tanpa lapis *styrofoam* memiliki kekakuan yang lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam* dengan selisih yang tidak begitu besar yaitu 8,711%. Hal ini dapat dibuktikan bahwa rata-rata kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* adalah sebesar 220,7304 kg/mm, sedangkan rata-rata kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* adalah sebesar 201,5026 kg/mm.

5.2 Saran

Berikut ini merupakan beberapa saran-saran yang berkaitan dengan penelitian penggunaan *styrofoam* pada plat beton bertulangan bambu:

1. Letak nodia perlu diperhatikan pada waktu pemasangan tulangan bambu karena nodia juga berpengaruh pada kuat tarik bambu.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai sifat mekanik dari *styrofoam*.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh tebal *styrofoam* terhadap kekakuan plat beton.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai tebal plat dan letak penempatan *shear connector* sehingga dapat dicapai kondisi dengan adanya lapis *styrofoam* penurunan berat volume lebih besar namun penurunan kekakuannya lebih kecil.
5. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*, misalnya dengan tumpuan jepit-jepit.



DAFTAR PUSTAKA

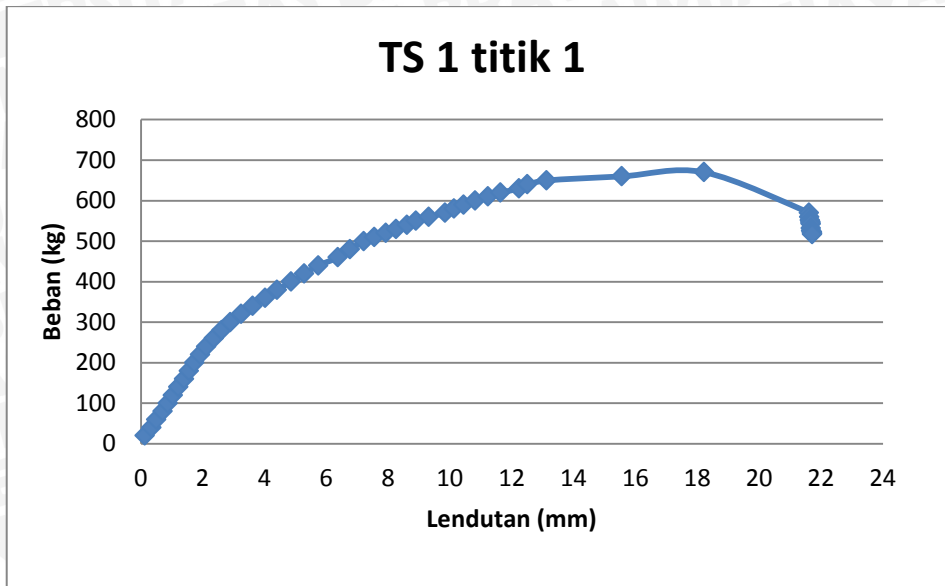
- Ghavami, K. 2004. Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, *Cement & Concrete Composites*. 27 (2005): 637-649
- Nindyawati. 2014. *Panel Dinding Beton Ringan Bertulangan Bambu*. Disertasi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Putra, D., Sedana, W. I., & Santika, K. B. 2007. Kapasitas Lentur Plat Beton Bertulangan Bambu. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. XI(1): 45-54.
- Jati, D. G. 2013. Analisis Lentur Pelat Satu Arah Beton Bertulang Berongga Bola Menggunakan Metode Elemen Hingga Non Linier (051S). Makalah dalam *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*. Universitas Sebelas Maret (UNS). Surakarta, 24-26 Oktober 2013.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Bambu> (diakses pada 20 April 2015 pukul 1:51 WIB)
- http://en.wikipedia.org/wiki/Flexural_rigidity (diakses pada 20 April 2015 pukul 1:53 WIB)
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Janssen, J. J. A. 2000. *Designing and Building with Bamboo*. Technical Report No. 20. INBAR
- Pathurahman, J. F. & Kusuma, D. A. 2003. Aplikasi Bambu Pилinan Sebagai Tulangan Balok Beton. *Dimensi Teknik Sipil*. V(1): 39-44
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset
- Nawy, E., G., & Suryoatmono, B. (Penerjemah). 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : PT. Refika Aditama.
- Wang, C. K. & Salmon, C. 1994. *Desain Beton Bertulang*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Suseno, H. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang : Bargie Media.
- Dewi S.M. 2009. *Pelat dan Rangka Beton*. Malang: Bargie Media.

Lampiran 1. Data Pengujian Pembebanan Plat**Pengujian Lentur Plat Satu Arah**

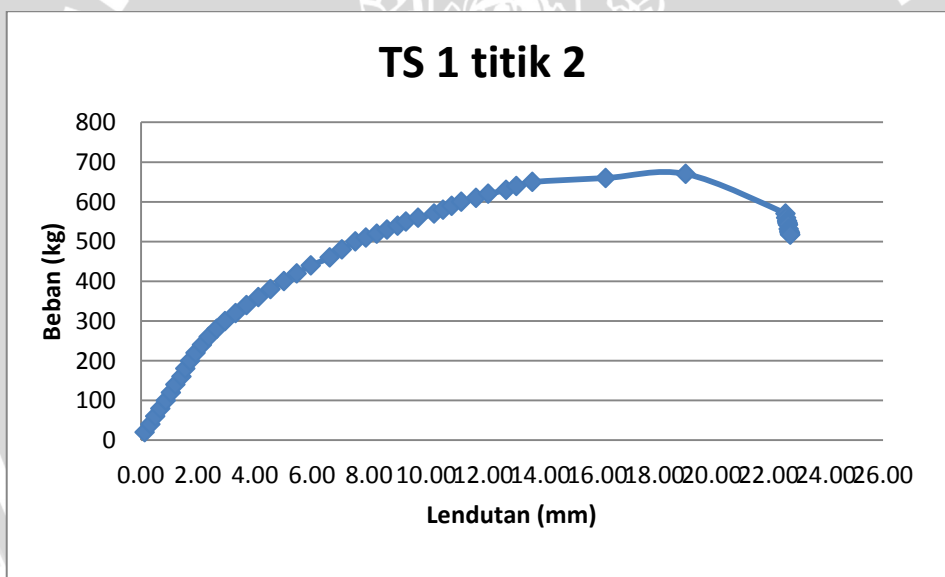
Nama Benda Uji	:	TS-1
Tanggal pengujian	:	09/06/2015
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
Komposisi benda uji	:	Beton
Ukuran Benda Uji	:	80.6 x 40.3 x 5.3 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Berat Benda Uji	:	39.06 kg

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
0	0	6.83	5.42
1	20	6.96	5.57
2	40	7.18	5.77
3	60	7.34	5.93
4	80	7.54	6.12
5	100	7.71	6.3
6	120	7.88	6.48
7	140	8.05	6.64
8	160	8.24	6.85
9	180	8.39	6.99
10	200	8.57	7.16
11	220	8.75	7.35
12	240	8.95	7.57
13	260	9.2	7.81
14	280	9.45	8.09
15	300	9.73	8.38
16	320	10.08	8.75
17	340	10.45	9.13
18	360	10.86	9.55
19	380	11.24	9.97
20	400	11.69	10.44
21	420	12.12	10.89
22	440	12.57	11.39
23	460	13.21	12.05
24	480	13.6	12.47
25	500	14.04	12.94
26	510	14.39	13.32
27	520	14.76	13.7
28	530	15.09	14.05
29	540	15.44	14.42
30	550	15.73	14.72
31	560	16.15	15.14

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
32	570	16.67	15.7
33	580	16.96	16.02
34	590	17.28	16.32
35	600	17.65	16.66
36	610	18.06	17.17
37	620	18.47	17.6
38	630	19.07	18.23
39	640	19.34	18.59
40	650	19.96	19.15
41	660	22.39	21.72
42	670	25.05	24.52
43	570	28.44	28.02
44	560	28.46	28.04
45	552	28.48	28.07
46	548	28.5	28.09
47	545	28.5	28.1
48	542	28.51	28.11
49	532	28.51	28.13
50	526	28.52	28.15
51	523	28.54	28.16
52	522	28.55	28.17
53	519	28.55	28.18
54	517	28.55	28.19



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji TS 1 di Titik 1



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji TS 1 di Titik 2

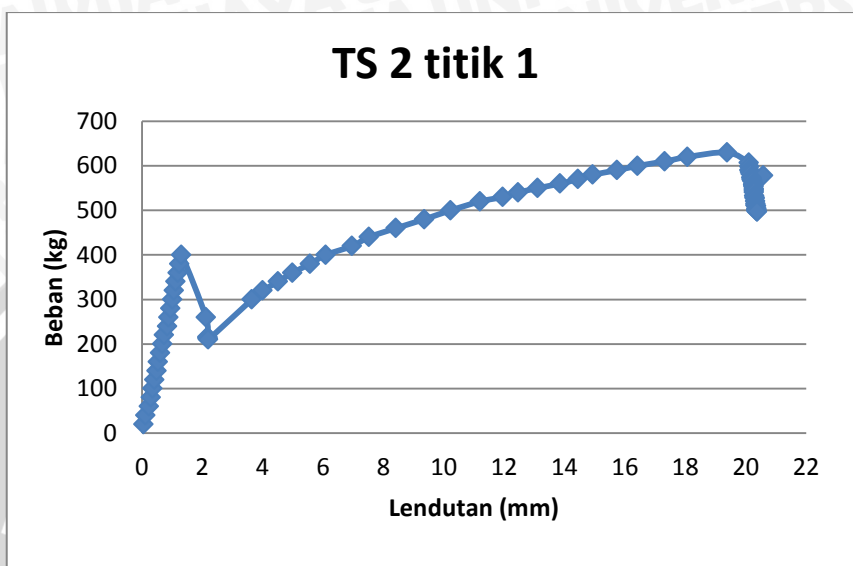
Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji	:	TS-2
Tanggal pengujian	:	09/06/2015
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
Komposisi benda uji	:	Beton
Ukuran Benda Uji	:	80.7 x 40.2 x 5.5 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Berat Benda Uji	:	38.06 kg

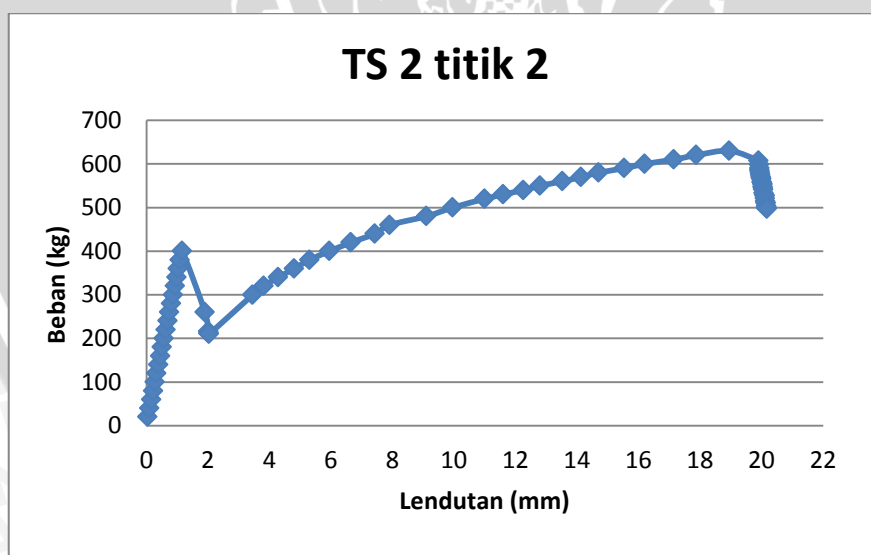
Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
0	0	9.21	10.15
1	20	9.27	10.19
2	40	9.33	10.25
3	60	9.45	10.31
4	80	9.51	10.37
5	100	9.57	10.43
6	120	9.63	10.48
7	140	9.7	10.54
8	160	9.75	10.6
9	180	9.82	10.66
10	200	9.89	10.72
11	220	9.95	10.78
12	240	10.05	10.84
13	260	10.09	10.9
14	280	10.16	10.96
15	300	10.22	11.02
16	320	10.27	11.08
17	340	10.33	11.13
18	360	10.4	11.18
19	380	10.46	11.24
20	400	10.52	11.31
21	260	11.33	12.05
22	216	11.39	12.16
23	214	11.39	12.17
24	212	11.4	12.18
25	210	11.41	12.19
26	300	12.85	13.6
27	320	13.21	13.96
28	340	13.72	14.43
29	360	14.2	14.95
30	380	14.78	15.45
31	400	15.3	16.1
32	420	16.17	16.8

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
33	440	16.73	17.58
34	460	17.62	18.06
35	480	18.56	19.25
36	500	19.43	20.11
37	520	20.41	21.15
38	530	21.16	21.75
39	540	21.67	22.4
40	550	22.32	22.95
41	560	23.06	23.67
42	570	23.65	24.28
43	580	24.14	24.85
44	590	24.95	25.68
45	600	25.63	26.35
46	610	26.53	27.3
47	620	27.28	28.02
48	630	28.59	29.1
49	607	29.31	30.05
50	598	29.34	30.07
51	590	29.34	30.08
52	586	29.36	30.09
53	582	29.38	30.1
54	578	29.79	30.11
55	574	29.4	30.12
56	570	29.41	30.13
57	568	29.42	30.14
58	565	29.44	30.15
59	559	29.46	30.16
60	557	29.46	30.17
61	555	29.47	30.18
62	553	29.47	30.19
63	548	29.48	30.19
64	545	29.48	30.2
65	541	29.48	30.21
66	533	29.49	30.22
67	529	29.5	30.24
68	527	29.52	30.26
69	521	29.53	30.26
70	515	29.54	30.27
71	511	29.54	30.28
72	510	29.56	30.29
73	504	29.57	30.3
74	501	29.57	30.31

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 1
75	500	29.57	30.31
76	498	29.58	30.32
77	497	29.59	30.32



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji TS 2 di Titik 1



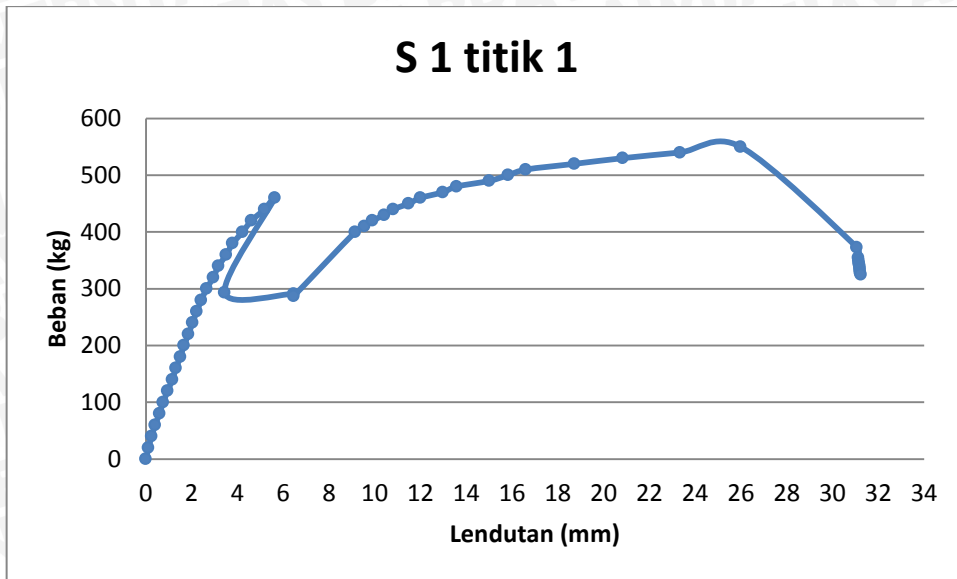
Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji TS 2 di Titik 2

Pengujian Lentur Plat Satu Arah

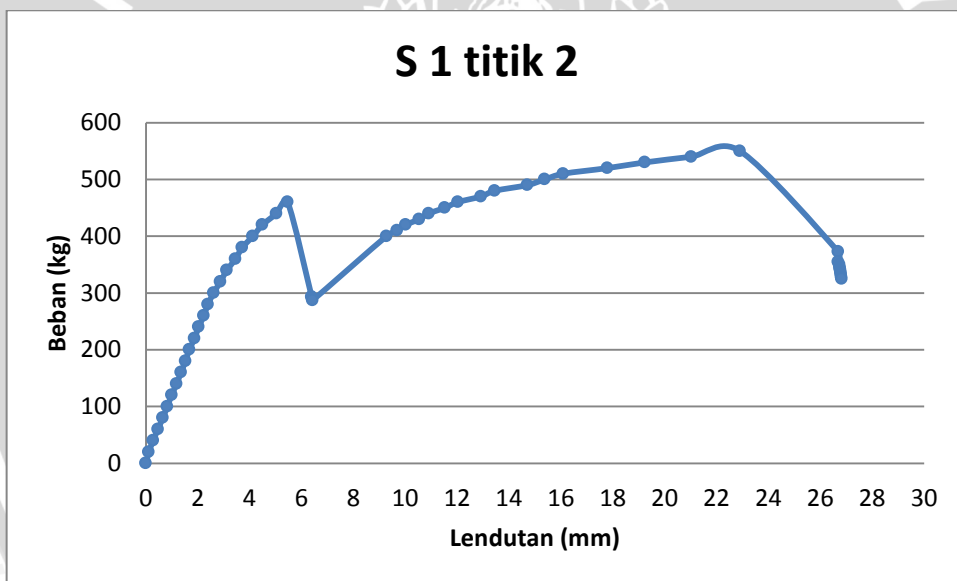
Nama Benda Uji	:	S-1
Tanggal pengujian	:	09/06/2015
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
Komposisi benda uji	:	Beton
Ukuran Benda Uji	:	81.4 x 39.5 x 5.5 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Berat Benda Uji	:	34.86 kg

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
0	0	12.14	10.32
1	20	12.25	10.43
2	40	12.39	10.6
3	60	12.54	10.78
4	80	12.73	10.97
5	100	12.89	11.14
6	120	13.09	11.31
7	140	13.29	11.5
8	160	13.45	11.67
9	180	13.64	11.84
10	200	13.8	11.99
11	220	14	12.19
12	240	14.17	12.35
13	260	14.36	12.55
14	280	14.56	12.71
15	300	14.79	12.93
16	320	15.08	13.19
17	340	15.31	13.44
18	360	15.65	13.77
19	380	15.93	14.03
20	400	16.36	14.44
21	420	16.75	14.81
22	440	17.32	15.35
23	460	17.77	15.78
24	293	15.58	16.71
25	291	18.59	16.73
26	287	18.59	16.74
27	400	21.28	19.59
28	410	21.69	20
29	420	22.04	20.33
30	430	22.55	20.85
31	440	22.95	21.22
32	450	23.62	21.84

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
33	460	24.13	22.34
34	470	25.11	23.23
35	480	25.71	23.77
36	490	27.14	25.02
37	500	27.96	25.69
38	510	28.74	26.4
39	520	30.86	28.11
40	530	32.97	29.55
41	540	35.47	31.34
42	550	38.12	33.22
43	373	43.2	37
44	355	43.26	37.01
45	350	43.28	37.05
46	346	43.29	37.07
47	343	43.3	37.08
48	340	43.32	37.09
49	336	43.33	37.11
50	333	43.34	37.12
51	328	43.35	37.13
52	325	43.37	37.14



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji S 1 di Titik 1



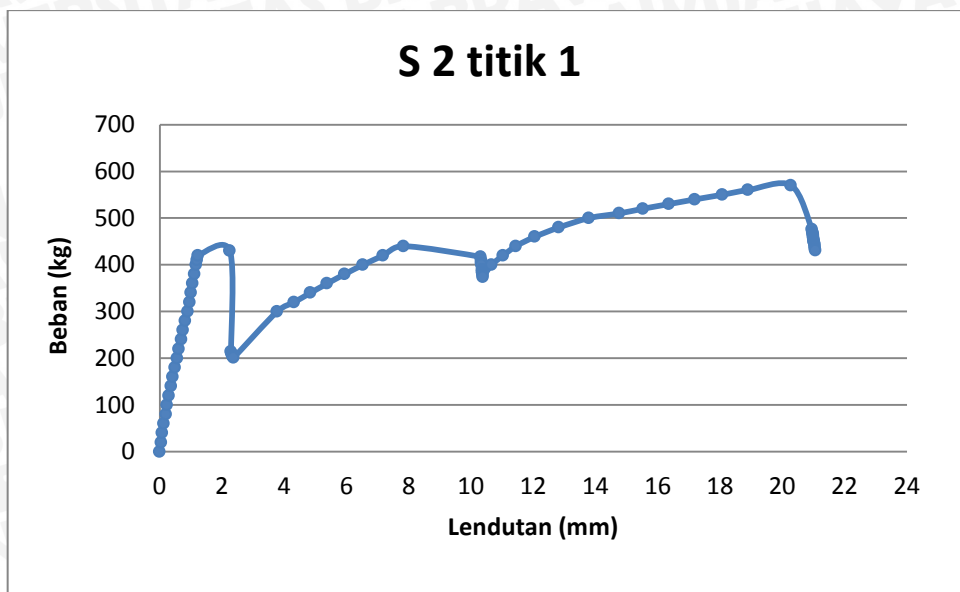
Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji S 1 di Titik 2

Pengujian Lentur Plat Satu Arah

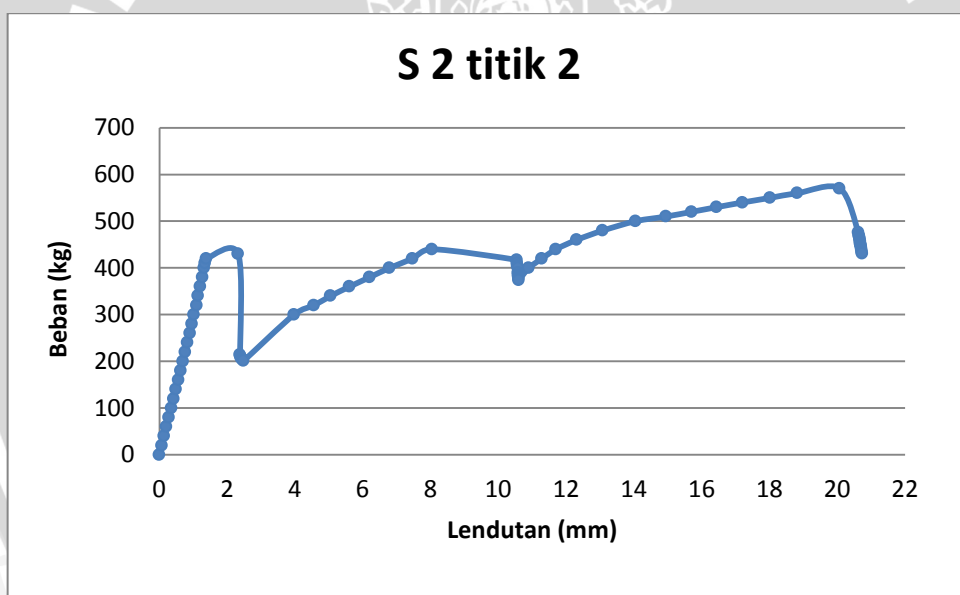
Nama Benda Uji	:	S-2
Tanggal pengujian	:	09/06/2015
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
Komposisi benda uji	:	Beton
Ukuran Benda Uji	:	80.9 x 40 x 5.6 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Berat Benda Uji	:	34.76 kg

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
0	0	8.82	7.28
1	20	8.87	7.35
2	40	8.9	7.42
3	60	8.95	7.49
4	80	9.02	7.56
5	100	9.06	7.64
6	120	9.12	7.7
7	140	9.19	7.77
8	160	9.24	7.84
9	180	9.31	7.91
10	200	9.38	7.98
11	220	9.44	8.04
12	240	9.52	8.11
13	260	9.57	8.18
14	280	9.64	8.24
15	300	9.72	8.3
16	320	9.79	8.38
17	340	9.83	8.42
18	360	9.88	8.49
19	380	9.94	8.55
20	400	9.99	8.6
21	410	10.02	8.63
22	420	10.05	8.67
23	430	11.07	9.6
24	214	11.11	9.66
25	211	11.13	9.68
26	207	11.15	9.7
27	205	11.17	9.72
28	203	11.18	9.75
29	201	11.19	9.76
30	300	12.59	11.25
31	320	13.14	11.84
32	340	13.66	12.33

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
33	360	14.2	12.89
34	380	14.76	13.48
35	400	15.35	14.07
36	420	16	14.75
37	440	16.65	15.32
38	417	19.13	17.83
39	410	19.15	17.84
40	404	19.15	17.85
41	400	19.16	17.86
42	390	19.18	17.86
43	385	19.18	17.87
44	382	19.19	17.87
45	378	19.2	17.88
46	374	19.2	17.88
47	400	19.48	18.18
48	420	19.85	18.56
49	440	20.26	18.98
50	460	20.87	19.59
51	480	21.64	20.36
52	500	22.61	21.33
53	510	23.58	22.23
54	520	24.34	22.98
55	530	25.18	23.72
56	540	26.01	24.48
57	550	26.89	25.3
58	560	27.72	26.1
59	570	29.1	27.35
60	476	29.77	27.9
61	470	29.79	27.92
62	467	29.8	27.93
63	464	29.81	27.94
64	460	29.82	27.95
65	456	29.83	27.96
66	453	29.84	27.96
67	450	29.84	27.97
68	448	29.85	27.98
69	444	29.87	27.99
70	439	29.87	28
71	434	29.88	28.01
72	431	29.89	28.02



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji S 2 di Titik 1



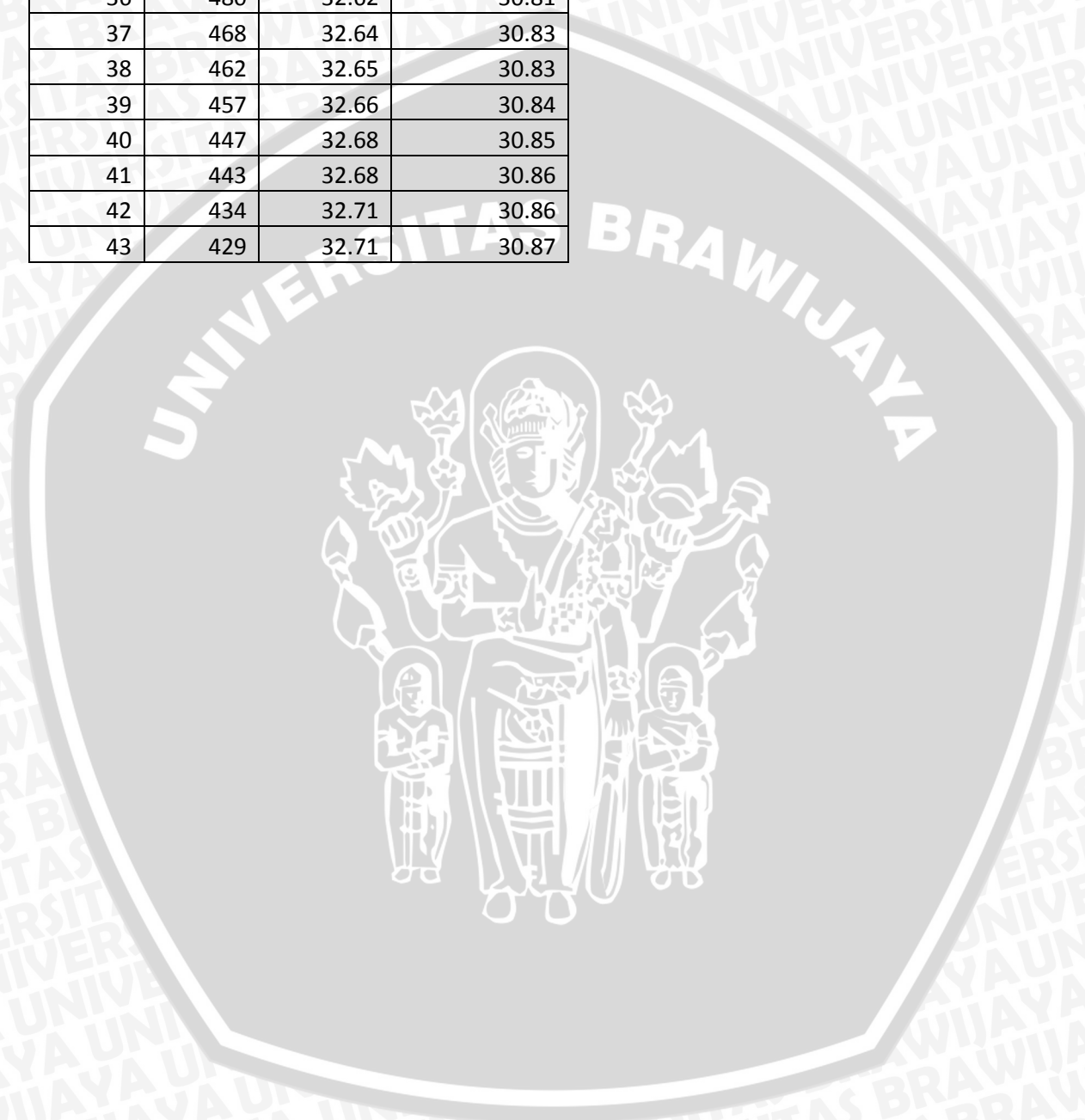
Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji S 2 di Titik 2

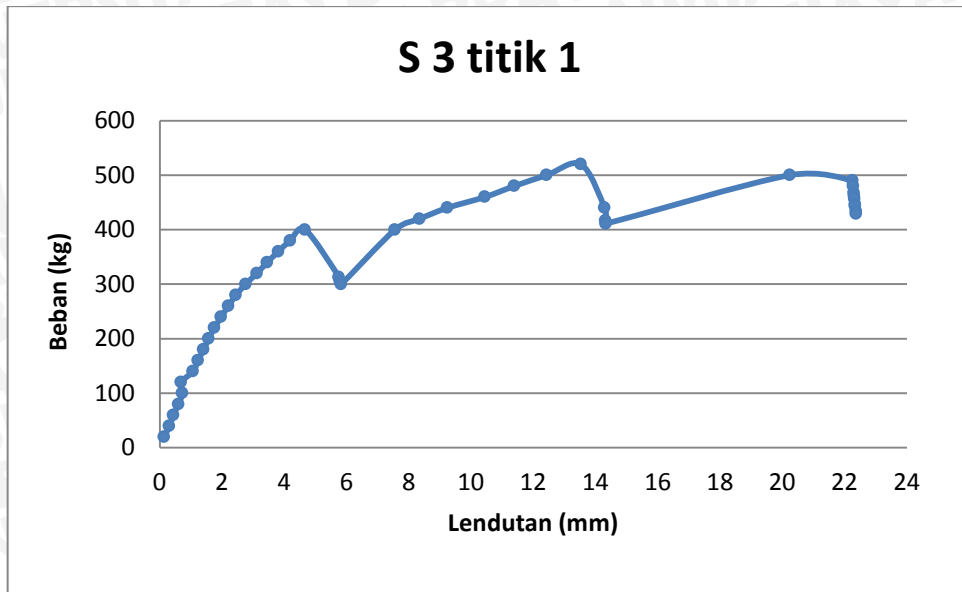
Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji	:	S-3
Tanggal pengujian	:	09/06/2015
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
Komposisi benda uji	:	Beton
Ukuran Benda Uji	:	80.5 x 39.9 x 5.7 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Berat Benda Uji	:	34.82 kg

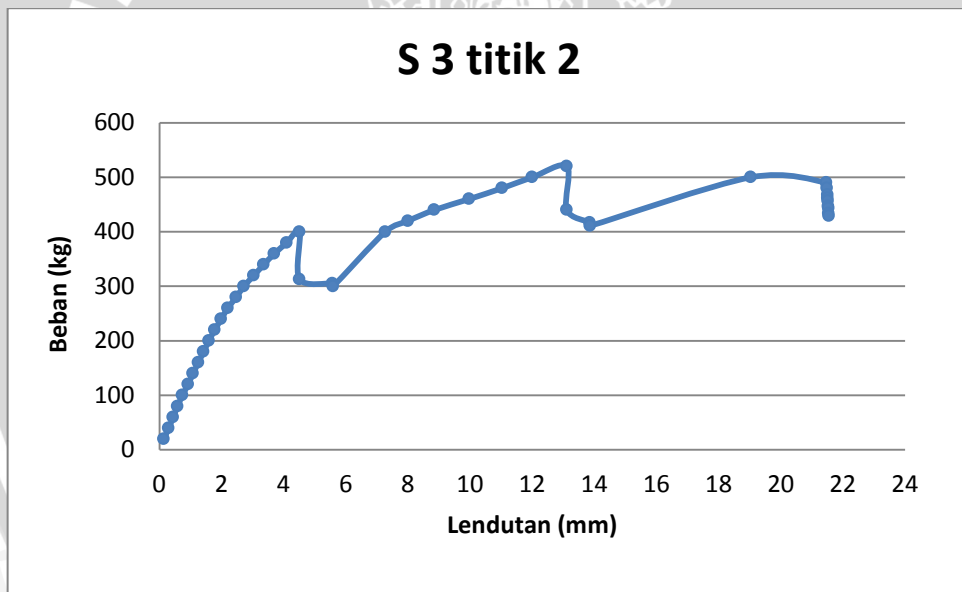
Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
0	0	10.34	9.32
1	20	10.48	9.46
2	40	10.65	9.62
3	60	10.78	9.76
4	80	10.94	9.9
5	100	11.07	10.06
6	120	11.024	10.24
7	140	11.41	10.4
8	160	11.57	10.57
9	180	11.75	10.74
10	200	11.91	10.91
11	220	12.1	11.1
12	240	12.31	11.31
13	260	12.55	11.52
14	280	12.79	11.79
15	300	13.1	12.04
16	320	13.46	12.36
17	340	13.79	12.68
18	360	14.15	13.02
19	380	14.53	13.42
20	400	15.01	13.83
21	313	16.1	13.83
22	305	16.14	14.89
23	300	16.17	14.91
24	400	17.9	16.59
25	420	18.69	17.32
26	440	19.58	18.17
27	460	20.79	19.29
28	480	21.73	20.35
29	500	22.77	21.32
30	520	23.87	22.43
31	440	24.63	22.43

Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2
32	417	24.66	23.17
33	411	24.67	23.18
34	500	30.58	28.36
35	490	32.6	30.79
36	480	32.62	30.81
37	468	32.64	30.83
38	462	32.65	30.83
39	457	32.66	30.84
40	447	32.68	30.85
41	443	32.68	30.86
42	434	32.71	30.86
43	429	32.71	30.87





Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji S 3 di Titik 1



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji S 3 di Titik 2

Lampiran 2. Data Pengujian Tekan Beton

Pengujian Tekan Beton

Komposisi benda uji	:	1 : 3 : 1
		Silinder diameter 8 cm, tinggi 16
Ukuran Benda Uji	:	cm
Umur Benda		
Uji	:	28 hari

Tanggal Pengujian	Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Berat (kg)	Umur	Beban Maksimum		Kuat Tekan (28 hari)	
					kN	kg	(kg/cm ²)	MPa
08 Juni 2015	A	50.265	1.70	28	107	10700	212.87	21.29
08 Juni 2015	B	50.265	1.70	28	136	13600	270.56	27.06
08 Juni 2015	I	50.265	1.72	28	110	11000	218.84	21.88
Kuat Tekan Beton Rata-Rata (f'_c)							234.09	23.41



Lampiran 3. Data Pereencanaan Mix Design**PERENCANAAN CAMPURAN BETON NORMAL**

No	Uraian	Tabel/Grafik Perhitungan	Nilai
1	Kuat tekan yang diisyaratkan	Ditetapkan	20 Mpa
2	Deviasi standart	Diketahui	7 Mpa
3	Nilai tambah (margin)	Ditetapkan	12 Mpa
4	Kuat Tekan rata-rata target	(1)+(3)	32 Mpa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
6	Jenis Agregat : Kasar	Ditetapkan	Batu pecah
	Jenis Agregat : Halus	Ditetapkan	Pasir alami
7	Faktor air semen bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	-
8	Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0.6
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	10 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 6	233.33 kg/m ³
12	Kadar semen	(11)/(8)	388.89 kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	Ditetapkan	-
14	Kadar semen minimum	Tabel 3	325 kg/m ³
15	Faktor air semen penyesuaian	-	-
16	Gradasi agregat halus	Grafik 3 - 6	zona 1
17	Gradasi agregat kasar	Tabel 7, Grafik 7 -12	zona 3
18	Persen agregat halus	Grafik 13 -15	65%
19	Berat jenis relatif (ssd)	Diketahui	2.728 kg/m ³
20	Berat isi beton	Grafik 16	2275 kg/m ³
21	Kadar agregat gabungan	(20)-(12)-(11)	1652.778 kg/m ³
22	Kadar agregat halus	(18)x(21)	1074.306 kg/m ³
23	Kadar agregat kasar	(21)-(22)	578.472 kg/m ³

Volume kebutuhan :

$$\begin{aligned}
 0.4 \times 0.8 \times 0.045 \times 5 &= 0.0576 \text{ untuk 5 pelat} \\
 \pi \times 0.08^2 \times 0.16 \times 3 &= 0.00965 \text{ untuk 3 silinder} + \\
 \text{total} &= 0.06725 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Keterangan	Pasir	Kerikil
Berat jenis (SSD)	2.831	2.536
Kadar air (%)	4.396	2.379
Penyerapan (%)	0.847	4.508

banyaknya bahan (teoritis)	semen (kg)	air kg (lt)	agregat halus (kg)	agregat kasar (kg)
Tiap m3 dengan ketelitian 5 kg (teoritis)	325	233.33	1074.306	578.472
Tiap campuran uji 0.08165 m3	21.857	15.692	72.248	38.903
	22	16	72	39
Tiap campuran uji 0.24495 m3	79.610	57.156	263.154	141.698
	80	57	263	142
Tiap m3 dengan ketelitian 5 kg (aktual)	325	207.523	1112.430	566.158
Tiap campuran uji 0.08165 m3	21.857	13.956	74.812	38.075
	22	14	75	38
Tiap campuran uji 0.24495 m3	79.610	50.833	272.493	138.682
	80	51	272	139
Proporsi teoritis	1	0.718	3.306	1.780
Proporsi aktual	1	0.639	3.423	1.742
Proporsi teoritis + 15%	25.135	18.046	83.085	44.738
	25	18	83	45

Semen	Air	Pasir	Kerikil
1	0.718	3.306	1.780
1	0.718	3	1

banyaknya bahan (teoritis)	semen (kg)	air kg (lt)	agregat halus (kg)	agregat kasar (kg)
Tiap m3 dengan ketelitian 5 kg (teoritis)	325	233.33	975	325
Tiap campuran uji 0.08165 m3	21.857	15.692	65.570	21.857
	22	16	66	22
Tiap campuran uji 0.24495 m3	79.610	57.156	238.829	79.610
	80	57	239	80
Tiap m3 dengan ketelitian 5 kg (aktual)	325	233.333	975.000	325.000
Tiap campuran uji 0.08165 m3	21.857	15.692	65.570	21.857
	22	16	66	22
Tiap campuran uji 0.24495 m3	79.610	57.156	238.829	79.610
	80	57	239	80
Proporsi teoritis	1	0.718	3	1
Proporsi aktual	1	0.718	3	1
Proporsi teoritis + 15%	25.135	18.046	75.405	25.135
	25	18	75	25

Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Sampel



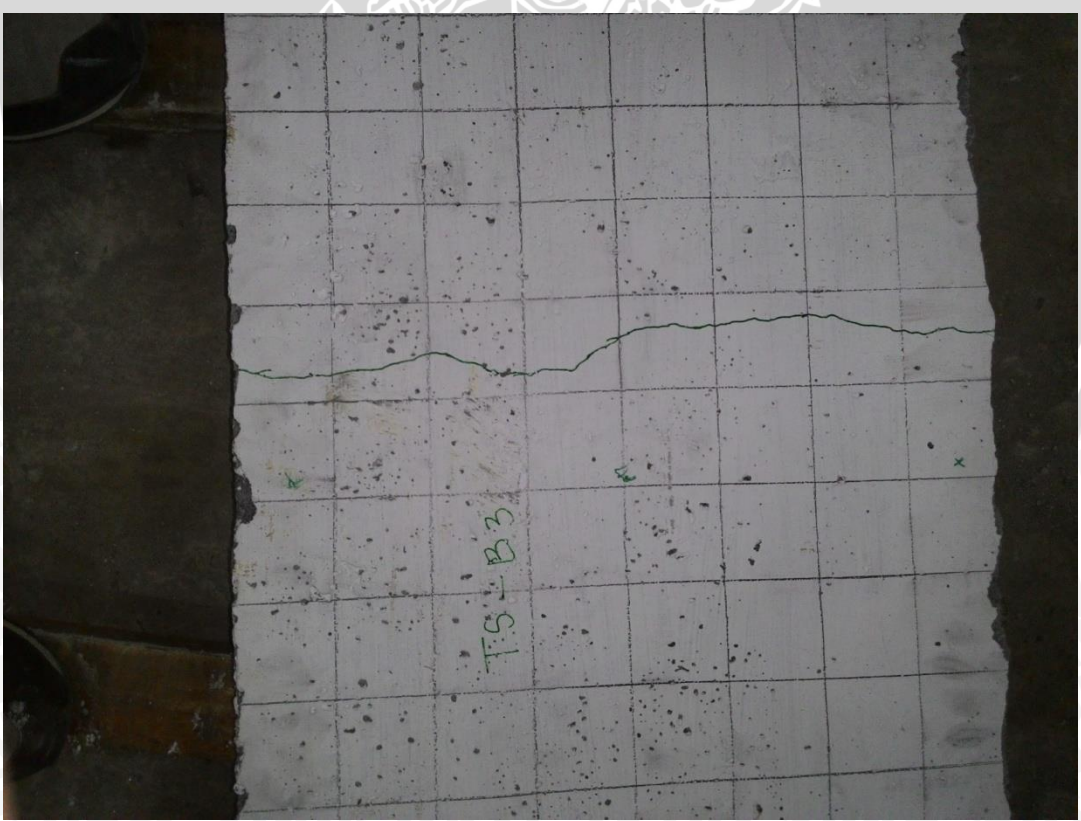
Setting Up Pengujian



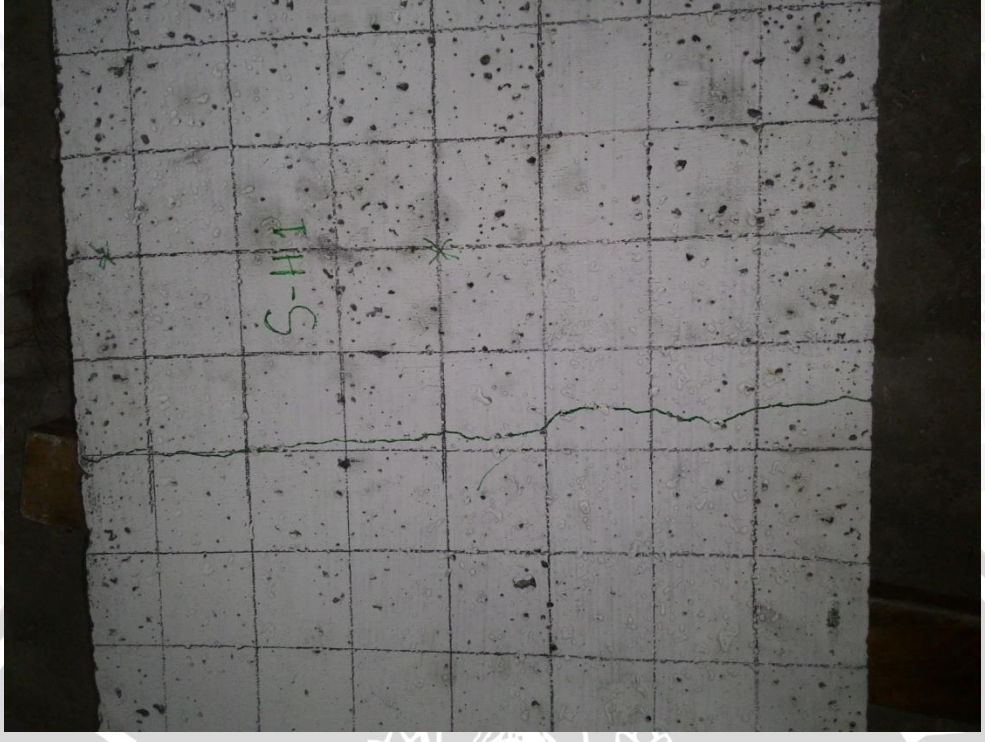
Hasil Akhir Benda Uji Tekan



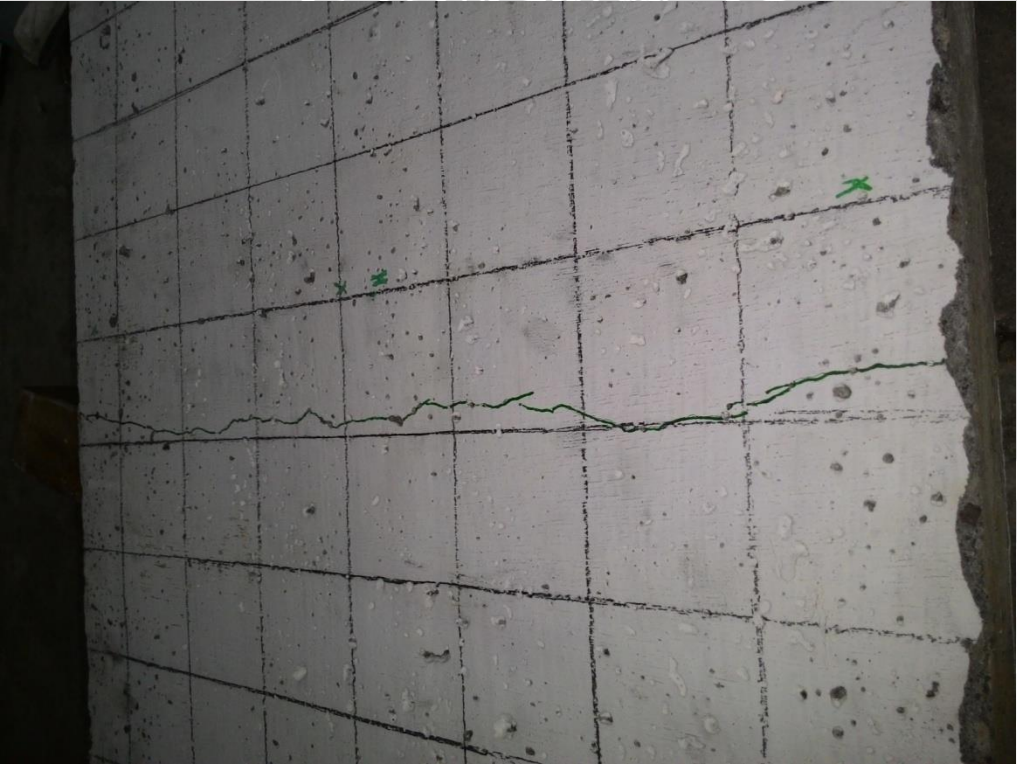
Hasil Akhir Benda Uji TS 1



Hasil Akhir Benda Uji TS 2



Hasil Akhir Benda Uji S 1



Hasil Akhir Benda Uji S 2



Hasil Akhir Benda Uji S 3

