

**PENGARUH LAPIS *STYROFOAM* PADA PLAT BETON  
BERTULANGAN BAMBU TERHADAP KEKAKUAN PLAT SATU**

**ARAH**

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD FAUZAN NOERMAN**  
**NIM. 125060100111009**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2017**



## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH LAPIS *STYROFOAM* PADA PLAT BETON BERTULANGAN BAMBU TERHADAP KEKAKUAN PLAT SATU ARAH

#### SKRIPSI

#### TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD FAUZAN NOERMAN**

**NIM. 125060100111009**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 13 Januari 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

**Christin Remayanti N., ST., MT.**  
NIP. 19840325 201504 2 001

Mengetahui Ketua Program Studi

**Dr.Eng. Indradi W,ST M.Eng. (Prac)**  
NIP. 19810220 200604 1 00

**HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**

Judul Skripsi :

Pengaruh lapis *styrofoam* pada plat beton bertulangan bambu terhadap kekakuan plat satu arah.

Nama Mahasiswa : Muhammad Fauzan Noerman

NIM : 125060100111009

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji

Dosen penguji 1 : Dr. Eng. Indradi W., ST., M.Eng.(Prac.)

Dosen penguji 2 : Christin Remayanti N., ST., MT.

Dosen penguji 3 : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

Tanggal Ujian : 9 Januari 2017

SK Penguji : 10/UN 10.F07/SK/2017

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Fauzan Noerman

NIM : 125060100111009

Judul Skripsi : **Pengaruh Lapis *Styrofoam* Pada Plat Beton Bertulangan Bambu Terhadap Kekakuan Plat Satu Arah**

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, 29 Desember 2016

Mahasiswa,

Muhammad Fauzan Noerman

125060100111009

## 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 lupa penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D, selaku pemberi topik penelitian serta memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini
3. Bapak Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini
4. Ibu Christin Remayanti N., ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini
5. Kedua orang tua yang tercinta, Erman Barna dan Nurhayati, yang telah memberikan dukungan moril dan materil yang tidak ternilai dari awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini
6. Kedua saudara yang tercinta, Iqbal Noerman dan Olivia Permanasari, yang telah memberikan dukungan moril dan materil yang tidak ternilai dari awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini
7. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan selama masa perkuliahan

8. Rifki Darrisman selaku partner dalam pengerjaan skripsi yang telah membantu dan memberikan kontribusi dari awal pengerjaan skripsi hingga akhir
9. Pak Sugeng, Pak Hadi, dan Mas Dino selaku pihak dari Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan yang telah membantu selama kegiatan penelitian di laboratorium
10. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil yang telah membantu dan mendukung selama masa perkuliahan
11. Keluarga Besar *SECONDHOME* yang telah mendukung dan memberikan pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.



Malang, Desember 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>xi</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pelat.....	5
2.2 Beton.....	7
2.2.1 Agregat .....	8
2.2.2 Semen .....	9
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 Kekakuan .....	16
2.9.1 Perhitungan Defleksi .....	17
2.10 Hipotesis Penelitian .....	18

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	19
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian .....	19
3.3 Diagram Alir Penelitian .....	20
3.4 Prosedur Penelitian .....	21
3.5 Variabel Penelitian .....	22
3.6 Benda Uji dan <i>Setting</i> .....	22
3.7 Metode Analisis Data .....	25

### BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Pelat .....	27
4.1.1 Pengujian Beton Segar .....	27
4.1.2 Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton .....	28
4.1.3 Pengujian Kuat Tekan Beton .....	29
4.2 Analisa Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis .....	30
4.2.1 Pemodelan Struktur .....	30
4.2.2 Kapasitas Lentur .....	30
4.3 Analisa Lendutan Plat Beton .....	34
4.4 Analisa Kekakuan Plat .....	40
4.4.1 Perhitungan Kekakuan Secara Teoritis .....	40
4.4.2 Perhitungan Kekakuan Secara Eksperimen .....	43

### BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	46

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Hasil Uji Tarik Bambu.....	14
<b>Tabel 3.1</b> Rencana Form Data Benda Uji .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengujian Slump .....	28
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Standar Slump .....	29
<b>Tabel 4.3</b> Perencanaan Campuran Beton <i>Mix Design</i> .....	29
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	30
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan antara Lendutan Hasil Eksperimen dengan Teoritis .....	36
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan Perhitungan Kekakuan Plat Berdasarkan Hasil Eksperimen dan Perhitungan Teoritis .....	44





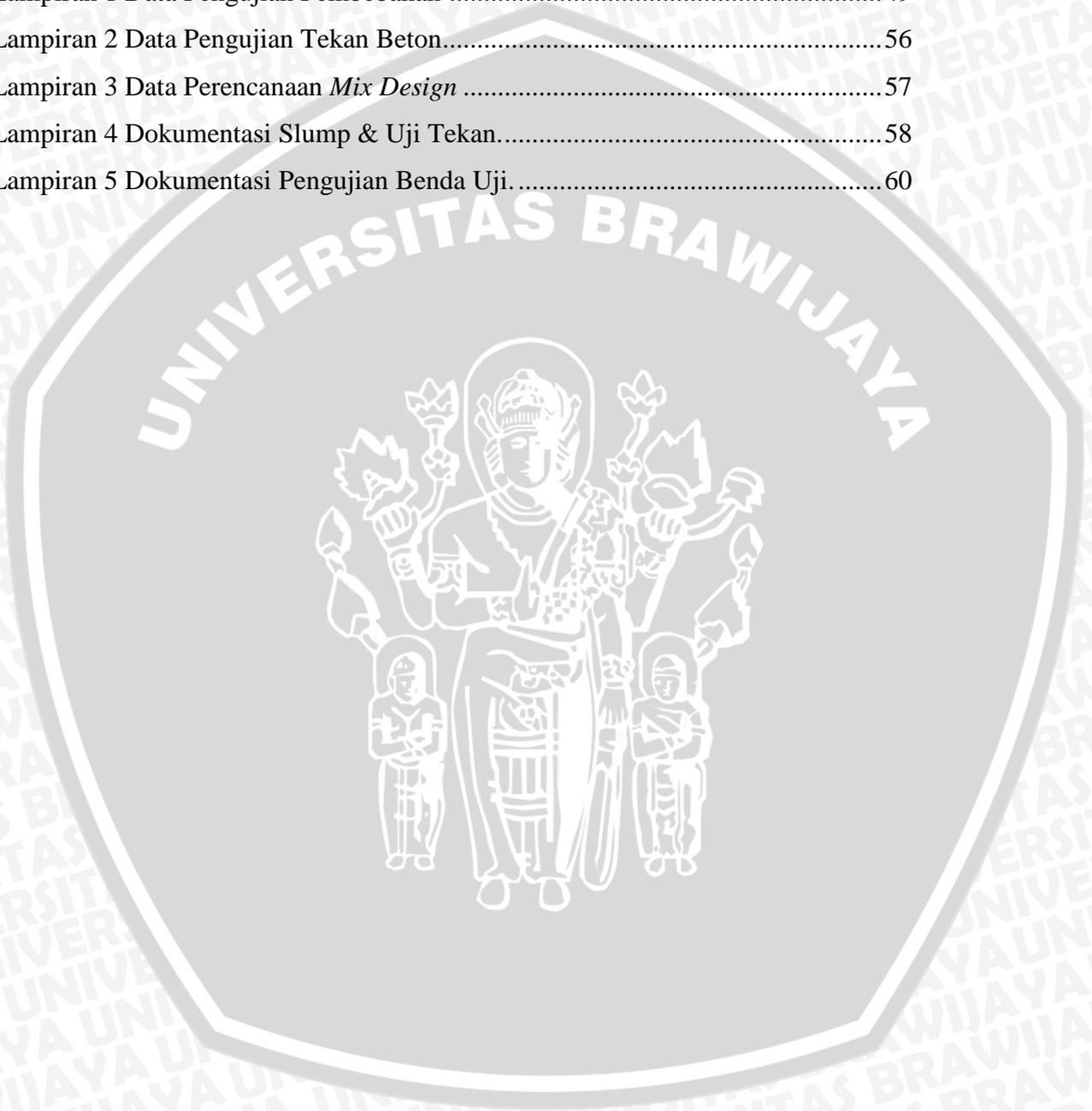
## DAFTAR GAMBAR

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 .....	20
Gambar 3.2 Tampak Atas Benda Uji .....	23
Gambar 3.3 Detail Potongan Melintang Benda Uji SN .....	23
Gambar 3.4 Detail Potongan Melintang Benda Uji SSB .....	24
Gambar 3.5 <i>Setting Up</i> Pengujian .....	25
Gambar 3.6 Posisi LVDT pada Pengujian Plat (Potongan A-A) .....	26
Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Defleksi ( $\Delta$ ).....	27
Gambar 4.1 Pemodelan Pembebanan Struktur .....	31
Gambar 4.2 Detail Penampang.....	31
Gambar 4.3 Diagram Tegangan Penampang.....	32
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji TS-1.....	37
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji TS-2.....	37
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SN-1 .....	38
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SN-2 .....	38
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SSB-1 .....	39
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SSB-2 .....	39
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 .....	40
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 .....	40



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengujian Pembebanan .....	49
Lampiran 2 Data Pengujian Tekan Beton.....	56
Lampiran 3 Data Perencanaan <i>Mix Design</i> .....	57
Lampiran 4 Dokumentasi Slump & Uji Tekan.....	58
Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian Benda Uji.....	60





## RINGKASAN

**Muhammad Fauzan Noerman**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2016, *Pengaruh Lapis Styrofoam Pada Plat Beton Bertulangan Bambu Terhadap Kekakuan Plat Satu Arah*, Dosen Pembimbing: Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng. dan Christin Remayanti N., ST., MT.

Beton merupakan suatu bahan konstruksi konvensional pada suatu konstruksi. Beton memiliki keunggulan pada kuat tekannya yang tinggi namun sangat lemah pada kuat tariknya. Oleh karena itu dibutuhkan tulangan untuk membantu beton menahan gaya tarik dari beban yang diberikan. Harga yang relatif mahal dan salah satu sumber daya yang tidak dapat diperbaharui mengakibatkan tulangan baja membutuhkan alternatif lain sebagai perkuatan dalam beton. Sehingga digunakan bambu sebagai alternatif pengganti tulangan baja. Beton normal memiliki berat volume yang besar. Untuk mengurangi berat sendiri struktur yang diharapkan dapat membuat struktur lebih efisien dan ekonomis diperlukan suatu pembaharuan yaitu penggunaan beton ringan. *Styrofoam* digunakan sebagai bahan pengisi beton karena dapat mengurangi berat beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi ketika menerima beban, 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 4 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 80x160x5 cm. Dimensi tulangan bambu 2x1 cm dengan panjang 1500 mm untuk tulangan arah memanjang dan 2x1 cm dengan panjang 700 mm untuk tulangan arah melintang. Dimensi *styrofoam* 70x150x4 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 dan lendutan.

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*, dan plat beton tanpa lapis *styrofoam* memiliki kekakuan yang lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam* dengan selisih yang tidak begitu besar yaitu 3,19%.

**Kata kunci** : plat beton, tulangan bambu, *styrofoam*, lendutan, kekakuan



## SUMMARY

**Muhammad Fauzan Noerman**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2016, *The Effect of Styrofoam Panel as Void Filler on The Stiffnes of One Way Bamboo Reinforced Concrete Slab* Academic Supervisor: Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng. and Christin Remayanti N., ST., MT.

Concrete is a conventional construction material in a construction. Concrete has an advantage in it's compression strength while being weak in it's tensile strength. Because of that weakness concrete need to be steel reinforced to help in it's tensile strength. Being expensive and non reuseable material making steel reinforcement need another alternative as a concrete reinforcement. That is why bamboo is considered an optional material as concrete reinforcement. Normal concrete has high selfweight. Renewal is needed to reduce concrete selfweight and to increase efficiency, light concrete is considered as favorable option. *Styrofoam* is used as concrete filler because it can reduce concrete selfweight. This research's purpose is to see how big the deflection that happen when the slab receive load and rigidity of bamboo reinforced concrete slab with styrofoam as filler.

This research use bamboo reinforced concrete slab with styrofoam as filler with 4 sample and compared to 2 normal sample that is bamboo reinforced concrete slab without using styrofoam as filler. Bamboo that is used is petung. Slab measuring is 80x160x5 cm. Bamboo reinforcement measuring is 2x1 cm with 1500 mm lengthwise and 2x1 cm with 700 mm crosswise. Styrofoam measuring itself is 70x150x4 cm. Vertically static loading is used as a method to measure the deflection and rigidity of the slab if the concrete has reached 28 days. Load applied until the sample collapse and the data is analyzed.

The result of this research is that the slab without styrofoam as filler can withstand bigger load than styrofoam filled concrete and the slab without styrofoam as filler has higher rigidity than the slab with styrofoam as filler with 3,19% difference.

**Keywords** : concrete slab, bamboo reinforced, styrofoam, deflection, rigidity



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Konstruksi pada suatu proyek pembangunan dewasa ini diharapkan tidak hanya dapat menahan beban yang diterima tetapi juga efisien. Kebutuhan akan bahan baru mengakibatkan perkembangan teknologi material dan bahan konstruksi bangunan berkembang. Perkembangan teknologi bahan bangunan menghasilkan berbagai macam variasi guna meningkatkan efisiensi dalam pembangunan. Penggunaan beton ringan dan penggantian baja dengan bambu sebagai tulangan merupakan salah satu hasil dari perkembangan teknologi bahan yang menghasilkan struktur ringan. Struktur ringan tersebut diharapkan dapat menahan beban besar sama seperti konstruksi beton pada umumnya dan dapat meningkatkan efisiensi dari penggunaan bahan.

Beton merupakan bahan konvensional yang digunakan sebagai bahan konstruksi. Beton sering digunakan sebagai bahan konstruksi karena memiliki kuat tekan yang tinggi, namun memiliki kelemahan yang terletak pada kuat tariknya. Kuat tarik beton tergolong sangat rendah yaitu sekitar 10% terhadap kuat tekannya sendiri. Penambahan baja sebagai tulangan digunakan untuk menambah kuat tarik dan geser beton tersebut, tetapi penggunaan baja untuk menambah kuat tarik dan geser sudah banyak digunakan dan tergolong mahal. Penggunaan baja sebagai tulangan yang sudah sangat banyak akan mengakibatkan habisnya baja sebagai sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Menghindari penggunaan baja yang berlebihan dibutuhkan bahan pengganti baja sebagai tulangan. Bambu merupakan bahan alternatif yang baik sebagai pengganti baja untuk saat ini.

Bambu merupakan tanaman yang dapat tumbuh dengan sangat cepat dan terdapat hampir di seluruh wilayah Indonesia. Bambu dikenal memiliki sifat yang menguntungkan sebagai bahan konstruksi seperti batangnya yang kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk, dan mudah dikerjakan. Penggunaan bambu di Indonesia digunakan sebagai dinding, pelapis atap, perabot rumah tangga, barang kerajinan, dan lain-lain. Bambu memiliki kekutan tarik yang tinggi dikarenakan memiliki serat – serat padat ke arah memanjang dengan bentuk yang teratur. Bambu juga memiliki beberapa

kekurangan, salah satunya adalah mudah terserang rayap dan mudah terbakar. Kekurangan yang terdapat pada bambu dapat diatasi jika diberi perlakuan yang baik dan benar. Bambu ketika dikombinasikan dengan bahan lain dapat menambah kekuatan elemen struktur, salah satunya adalah pengganti baha sebagai tukang beton pada konstruksi.

Desain suatu struktur beton bertulang pada umumnya harus terjadi ikatan yang kuat antara tulangan dengan beton untuk menghindari terjadinya *slip*. Bambu memiliki sifat menyerap air dengan baik mengakibatkan ikatan yang lemah terhadap beton dibandingkan dengan tulangan baja. Perlakuan khusus dibutuhkan untuk mencegah terjadinya ikatan yang buruk antara tulangan dengan beton.

Beton ringan sendiri merupakan beton yang memiliki berat volume yang lebih kecil daripada beton pada umumnya. Berat volume yang lebih kecil daripada beton pada umumnya merupakan salah satu keunggulan beton ringan sehingga mengurangi jumlah kebutuhan beton. Berkurangnya kebutuhan beton dapat secara signifikan mengurangi berat total dari suatu bangunan itu sendiri serta mengurangi beban yang diterima di pondasi. Kebutuhan beton yang berkurang juga dapat meminimalisir biaya sehingga konstruksi tersebut lebih ekonomis dan efisien.

Pembuatan beton ringan memiliki prinsip untuk membuat rongga udara di dalam beton atau menggunakan material yang ringan. Pada penelitian ini digunakan styrofoam sebagai material pengisi pada plat dan juga sebagai pembuat rongga udara di dalam beton. Rongga udara dapat dibuat di dalam beton karena *styrofoam* memiliki berat yang sangat ringan. Penempatan *styrofoam* pada pelat ini yaitu pada bagian tengah penampang. Penempatan styrofoam ini berdasarkan pada nilai tegangan penampang simetris sama dengann nol pada tengah penampang dan semakin besar menuju bagian tepi. Diharapkan dapat mengurangi berat volume pelat dan hanya memiliki perbedaan kekakuan yang sedikit dibandingkan dengan 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 lendutan yang terjadi pada plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini ketika menerima beban?
2. 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* 4 cm
2. Benda uji berupa plat beton dengan dimensi 80x160x12 cm
3. Beton menggunakan campuran semen, pasir, dan kerikil dengan perbandingan 1:1,5:2,5
4. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung
5. Dimensi tulangan bambu 2x1 cm dengan panjang 150 cm untuk tulangan arah memanjang dan 70 cm untuk tulangan arah melintang
6. Pengamatan yang dilakukan meliputi berat plat, dimensi plat, beban yang terjadi, dan lendutan
7. Nilai kuat tarik dan modulus elastisitas bambu didapatkan dari penelitian terdahulu dengan jenis dan perlakuan yang sama pada tulangan bambunya.
8. Jumlah benda uji TS adalah plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* sebanyak 2 buah, SN adalah plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* sebanyak 2 buah, dan SSB adalah plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* menggunakan *shear connector* sebanyak 2 buah.

9. Asumsi tumpuan sendi-roll.
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 lendutan yang terjadi pada plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini ketika menerima beban.
2. 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* untuk penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Plat

Siti Nurlina (2008) plat adalah elemen bidang tipis yang menahan beban – beban transversal melalui aksi lentur ke masing – masing tumpuan. Ketebalan plat relatif kecil dibandingkan dimensi panjang dan lebar bidangnya. Sifatnya yang kaku pada arah horizontal mengakibatkan plat dapat berfungsi sebagai unsur pengaku horizontal pada bangunan. Beban yang terjadi pada umumnya di plat adalah beban kombinasi antara beban mati dan beban hidup. Kombinasi antara beban mati dan beban hidup mengakibatkan terjadi momen lentur sehingga plat tersebut juga direncanakan menahan beban lentur.

Plat beton bertulang biasanya digunakan sebagai plat lantai gedung, plat atap, plat lantai jembatan, penutup saluran, plat lantai pada dermaga, dan lain-lain. Pada perencanaan plat ini 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 inidapat 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 bertulangan 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.

Salah satu hal penting dalam perencanaan plat selain pembebanan adalah jenis perletakan dan jenis penghubung pada tumpuannya. Kekakuan hubungan antara plat dan balok pada suatu sistem konstruksi sangat penting dalam perencanaan plat. Terdapat 3 macam perletakan plat pada balok, antara lain:

1. Terletak bebas, pada saat pelaksanaan plat hanya diletakkan di atas balok atau plat tanpa perlakuan khusus dan balok tidak dilakukan pengecoran secara bersamaan.
2. Terjepit elastis, yaitu plat dicor bersamaan dengan balok yang ukurannya relatif kecil secara monolit, sehingga mengakibatkan terjadinya rotasi pada plat.
3. Terjepit penuh, yaitu balok berukuran cukup besar dan plat dicor secara bersamaan secara monolit sehingga tidak terjadi rotasi pada plat.

Sistem perencanaan plat terdapat dua jenis, 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 dikarenakan momen lentur yang bekerja hanya pada satu arah. Sehingga pemasangan tulangan pokok dilakukan searah dengan momen lentur yang bekerja pada plat tersebut. Tulangan tambahan perlu dipasang dengan arah tegak lurus tulangan pokok agar tulangan pokok tidak mengalami perpindahan, tulangan ini disebut tulangan bagi.

Sistem perencanaan plat dua arah merupakan perencanaan plat dengan menggunakan tulangan pokok pada dua arah yang tegak lurus. Tulangan pokok pada dua arah yang tegak lurus dikarenakan momen lentur yang bekerja pada dua arah bentangnya tanpa menggunakan tulangan bagi. Di daerah tumpuan momen lentur dominannya bekerja satu arah saja, mengakibatkan tulangan pokok hanya dipasang satu arah dan digunakan tulangan bagi sebagai pencegah perpindahan.

Ketika plat beton mengalami lentur hanya pada satu arah saja dan hanya ditumpu pada kedua sisinya yang saling berhadapan maka plat tersebut dinamakan plat satu arah. Sedangkan jika plat tersebut ditumpu pada keempat sisinya, maka plat tersebut dinamakan plat dua arah karena mengalami lentur pada kedua arahannya.

Beban kombinasi yang bekerja 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 adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam struktur, yang bahan utamanya adalah semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. 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). Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBTU 1971), beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air ( tanpa aditif ). 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. Dalam keadaan mengeras, beton adalah material yang nilai daktilitasnya tinggi dan memiliki kuat tekan yang tinggi dibandingkan kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton relatif kecil yakni berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Dipohusodo (1994) 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.

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.

Siti Nurlina (2008) keunggulan beton antara lain:

- Mudah dicetak. Keserasian beton untuk memenuhi kepentingan struktur dan arsitektur. Beton dicor ketika masih cair dan menahan beban ketika telah mengeras. Hal ini sangat bermanfaat, karena dapat dibuat berbagai bentuk.
- Ekonomis.
- Awet dan tahan lama.

- Tahan api.
  - Dapat dicor di tempat.
  - Penyediaan material mudah.
  - Rigiditas tinggi.
- Kekurangan beton antara lain :
- Kekuatan tarik rendah (sekitar 10% dari kekuatan tekan), sehingga mudah retak. Meskipun mungkin tidak terlihat tetapi memungkinkan udara lembab masuk melalui retak itu, dan membuat baja tulangan berkarat.
  - Memerlukan biaya untuk bekisting, perancah (untuk beton cor di tempat) yang tidak sedikit jumlahnya.
  - Kekuatan per satuan berat atau satuan volume yang relatif rendah. Kekuatan beton berkisar antara 5% - 10% kekuatan baja meskipun berat jenisnya kira – kira 30% dari berat baja.
  - Daktilitas rendah.
  - Volume tidak stabil, bergantung waktu, rangkakan dan susut. Beton mengalami rangkakan jangka panjang dan susut yang kurang menguntungkan beton itu sendiri.

### 2.2.1 Agregat

Agregat adalah bahan pengisi yang terdapat di dalam beton. Agregat merupakan bahan campuran yang berpengaruh dalam kekuatan beton. Agregat biasanya berjumlah sekitar 60% - 80% dari volume total beton, sehingga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku beton yang sudah mengeras.

Siti Nurlina (2008) agregat dibagi menjadi dua macam yaitu agregat halus yang meliputi pasir alami ataupun buatan dan agregat kasar yang meliputi kerikil, batu pecah, atau pecahan – pecahan dari *blast furnace*.

Agregat dalam beton ini memiliki fungsi antara lain:

1. Mengurangi kebutuhan semen yang diperlukan
2. Berjumlah sekitar 60% – 80% dari volume total sehingga penyumbang terbesar kekuatan beton itu sendiri.

3. Mengurangi penyusutan yang terjadi pada saat beton mengeras
4. Penggunaan agregat yang baik dan berkualitas dapat menghasilkan beton yang lebih padat dan memiliki sifat workability yang baik.

### 2.2.2 Semen

Semen merupakan bahan perekat pada beton dengan adanya campuran air. Semen berfungsi sebagai pengikat agregat yang terdapat 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. Penggunaan air yang berlebihan dapat menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Proses hidrasi yang seluruhnya tidak selesai mengakibatkan kekuatan beton yang berkurang. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, bahan – bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak beton atau tulangnya.

### 2.3 Beton Ringan

Beton ringan (*lightweight concrete*) adalah beton yang memiliki berat jenis yang lebih ringan dibanding beton pada umumnya. Beton ringan yang agregat halusnya bukan berasal dari pasir alami merupakan beton ringan total, sedangkan beton ringan yang agregat halusnya terbuat dari pasir alami merupakan beton ringan berpasir. Keunggulan pada beratnya memungkinkan beton ringan dapat diaplikasikan pada proyek bangunan tinggi yang secara langsung dapat mengurangi berat sendiri suatu struktur bangunan yang kemudian dapat meminimalisir biaya pembangunan itu sendiri. Membuat rongga udara di dalam beton atau menggunakan bahan material yang ringan merupakan prinsip kerja dari pembuatan beton ringan. Berikut ini adalah beberapa contoh metode pembuatan beton ringan:

- Penggunaan agregat yang lebih ringan seperti *pumice* (batu apung) dan batu alwa atau dapat menggunakan *styrofoam* sebagai material isian.
- Mengurangi agregat halus yang digunakan seperti menghilangkan debu atau abu terbang (*flying ash*)
- Rongga di dalam beton dapat diisi dengan udara dengan cara mekanik maupun kimiawi.

### 2.4 Komposit

Memperhitungkan pengaruh elemen – elemen yang berbeda sehingga dapat menjadi satu kesatuan dengan perilaku yang sama dalam mekanisme menahan beban yang bekerja merupakan prinsip dasar sistem komposit. Setiap elemen penyusunnya memiliki modulus elastisitas yang berbeda pada sistem komposit. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan normal tarik atau tekan dengan regangan yang timbul akibat tegangan tersebut. Perbedaan modulus elastisitas akibat perbedaan jenis bahan yang digunakan ini membuat perhitungan menjadi sedikit rumit. Metode Penampang Transformasi digunakan untuk mempermudah perhitungan terhadap tegangan yang terjadi. Mengganti luasan penampang dari kedua material menjadi satu bahan yang sama atau homogen dengan tujuan untuk menjadikan suatu perilaku yang sama dalam mekanisme menahan beban yang bekerja merupakan Prinsip Metode Penampang Transformasi.

Bambu digunakan sebagai tulangan pada penelitian ini. Diperlukan peninjauan terhadap luas tulangan bambu menggunakan Perhitungan Metode Penampang Transformasi. Sesuai dengan prinsip Perhitungan Metode Penampang Transformasi dilakukan penggantian luasan salah satu material untuk menjadi material lain agar menjadi satu material yang sama atau homogen. Pemilihan ditentukan berdasarkan nilai modulus elastisitas dari material penyusun kompositnya. Modulus elastisitas dari beton ( $E_c$ ) lebih besar dari modulus elastisitas tulangan ( $E$  bambu), sehingga luas beton diubah dengan luas bambu agar dapat dilakukan perhitungan.

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 ( $\text{kg/cm}^2$ )

$E_c$  = modulus elastisitas spesi ( $\text{kg/cm}^2$ )

$A$  = luas penampang setelah transformasi ( $\text{cm}^2$ )

$b$  = lebar penampang setelah transformasi (cm)

$h$  = tinggi penampang komposit (cm)

$A_s$  = luas tulangan bambu ( $\text{cm}^2$ )

## 2.5 Bambu

Bambu merupakan tanaman jenis rumput-rumputan yang memiliki batang keras berongga dan memiliki ruas di batangnya. 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. Bambu merupakan jenis tanaman yang termasuk *Bamboidae* yaitu salah satu anggota sub familia rumput, sehingga pertumbuhannya cepat (Jansen, 1980). Laju pertumbuhan ini ditentukan oleh kondisi tanah lokal, iklim, dan jenis spesiesnya. Pertumbuhan bambu yang paling umum adalah sekitar 3-10 cm per harinya. Bambu akan tumbuh kembali dengan cepat sehingga tidak mengganggu ekosistem ketika dipanen.

Bambu merupakan produk hasil hutan non kayu yang sangat dekat dengan kehidupan masyarakat umum karena pertumbuhannya ada di sekeliling kehidupan masyarakat. Penggunaan bambu di Indonesia telah dimanfaatkan sejak lama. Bambu banyak dimanfaatkan untuk pembuatan perabotan seperti meja, kursi, hiasan, dan lain-lain. Pemanfaatan bambu selain sebagai perabotan adalah sebagai komponen konstruksi misalnya tiang, dinding, atap, tangga, dan lain-lain.

Batang bambu memiliki diameter 1 cm sampai 25 cm dan pada umumnya berbentuk tabung atau silinder sehingga momen inersia batangnya besar tapi ringan. Batang bambu 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 memiliki kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang cukup tinggi, hal ini diakibatkan oleh banyak serat dan pembuluh yang arahnya sejajar mengikuti arah memanjang bambu. Serat-serat tersebut memiliki diameter 0,7 mm hingga 0,8 mm terarah sepanjang sumbu batang bambu, tergantung pada spesies dan lokasi tampang melintang. Batang bambu memiliki serat yang terkonsentrasi 40% - 70% pada bagian luar dan 15% - 30% serat di bagian dalam batang.

## 2.6 Sifat-sifat Mekanik Bambu

Bambu memiliki sifat higroskopis yang artinya memiliki kecenderungan untuk mengikat air baik dalam bentuk uap maupun cair. Sifat higroskopis bambu memungkinkan bambu mengembang dan menyusut secara signifikan. Penyusutan yang terjadi secara berkelanjutan pada bambu akan mempengaruhi ikatan antara bambu dengan beton.

Diperlukan perlakuan khusus terhadap bambu untuk menghindari terjadinya kehilangan ikatan antara bambu dengan beton dengan cara memberikan lapisan kedap air.

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

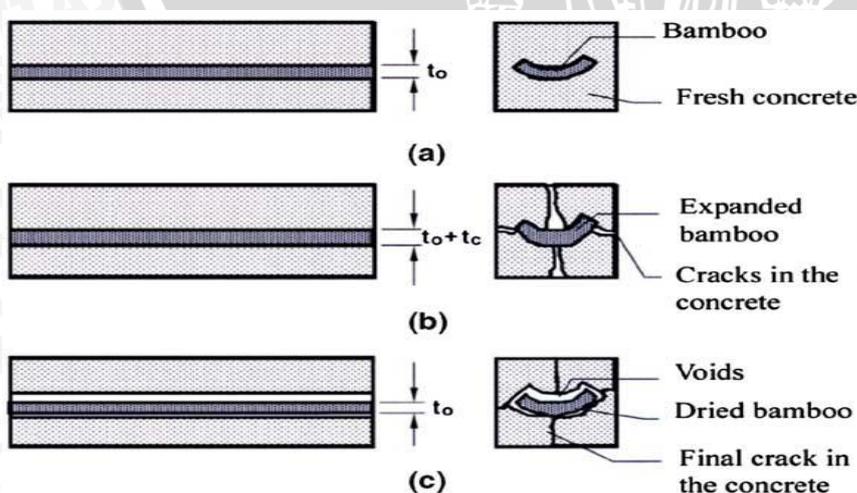
$$\mu = \frac{P}{A} \quad (2-3)$$

Di mana  $\mu$  = tegangan lekat bambu

$P$  = gaya *pull-out*

$A$  = luas selimut tulangan bambu yang dicor

Bambu akan memiliki perilaku yang berbeda pada saat proses pengerasan pada beton apabila tidak dilapisi dengan lapisan kedap air ketika digunakan sebagai tulangan. Pada saat campuran agregat halus dan pasta masih dalam keadaan basah tulangan bambu akan mengembang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.a. Pengembangan terjadi karena tulangan bambu yang tidak dilapisi oleh lapisan kedap air akan menyerap air pada campuran agregat halus dan pasta yang masih segar. Pada saat bambu menyerap air dari campuran agregat halus dan pasta (mortar) bambu akan mengembang sehingga menimbulkan retakan pada mortar setelah mengering seperti pada Gambar 2.1.b. Pada selang waktu yang cukup lama mortar akan mengering dan retakan yang timbul akan semakin membesar, bambu yang tidak diberi lapisan kedap air 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 Ghavami (2004)

Bahan pelapis kedap yang biasa digunakan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan sifat higroskopis pada bambu berupa melamin, sikadur, cat atau vernis. Penggunaan cat lebih banyak digunakan karena harganya yang relatif lebih murah daripada bahan pelapis yang lain seperti sikadur. Cat kayu digunakan sebagai bahan pelapis kedap air pada tulangan bambu pada penelitian ini. Daya lekat yang cukup baik, mudah dalam pengaplikasian, dapat menutup permukaan secara efektif dan tahan terhadap cuaca menjadi alasan digunakannya cat sebagai bahan pelapis tulangan bambu.

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

- Cat berpelarut air, memiliki daya rekat yang rendah sehingga digunakan pada material yang memiliki porositas tinggi.
- Cat berpelarut minyak, memiliki daya rekat yang tinggi karena memiliki bahan tambahan seperti lateks. Penambahan lateks menambah kekuatan rekat terhadap permukaan yang dilapisi oleh cat. Cat berpelarut minyak digunakan untuk melapisi material dengan porositas yang rendah misalnya kayu dan logam.

Tulangan bambu yang digunakan pada penelitian ini memiliki porositas yang rendah sehingga harus menggunakan cat dengan kekuatan rekat yang tinggi seperti cat berpelarut minyak. Penggunaan cat kayu ini memiliki kekurangan yaitu mengakibatkan permukaan bambu setelah dilapisi. Perlakuan khusus diperlukan untuk menambah daya lekat tulangan dengan menambahkan lapisan pasir pada permukaan tulangan yang telah dilapisi cat. Fungsi cat kayu pada penelitian ini selain sebagai bahan pelapis kedap air, adalah sebagai perekat pasir untuk menambah daya rekat tulangan bambu terhadap beton.

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

**Tabel 2.1.** Hasil Uji Tarik Bambu

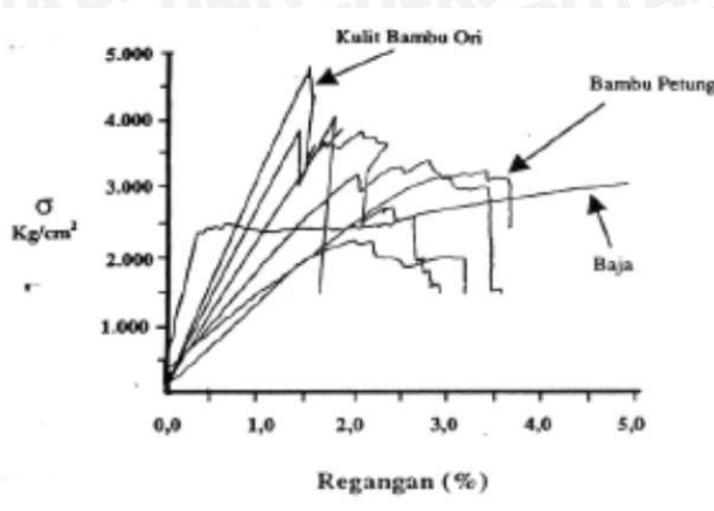
P	Dimensi	A	P/A
	Bambu		
(N)	(cm x cm)	(mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
19800	1 x 1.1	10	180
17400	0.9 x 1.1	99	175
19000	1.2 x 0.9	108	175
15300	0.9 x 0.9	81	188
17100	1.0 x 0.9	90	190
18800	1.2 x 0.8	108	174
rata-rata			180

Sumber: Nindyawati (2014: V-43)

## 2.7 Penelitian Mengenai Bambu

Berbagai macam penelitian ilmiah maupun empiris telah membuktikan bahwa bambu memiliki kekuatan yang cocok sebagai bahan pengganti tulangan baja pada beton bertulang. Penelitian yang telah dilakukan antara lain:

1. Khosrow Ghavami (2004) menyatakan bahwa tulangan bambu dapat menggantikan tulangan baja secara memuaskan dan telah diaplikasikan di dalam beberapa konstruksi bangunan.
2. 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)

3. Pathurahman dan kusuma (2003) melakukan penelitian dengan kesimpulan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana.
4. 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.

## 2.8 Styrofoam

Salah satu jenis polistirena yang cukup populer di kalangan masyarakat adalah *Styrofoam*. *Styrofoam* atau polistirena *foam* 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. Monomer stirena melalui polimerisasi suspensi pada tekanan dan suhu tertentu kemudian dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa *blowing agent* merupakan proses pembuatan polistirena *foam*.

Bahan plastic seperti polistirena *foam* 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 dapan menghantarkan panas sehingga membuat bahan ini menjadi insulator panas yang sangat baik. Penggunaan polistirena *foam* banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, tetapi terdapat kekurangan karena tidak dapat di daur ulang sehingga pengolahan limbahnya harus dilakukan secara benar agar tidak merusak lingkungan. Pembuatan aspal polimer dengan menggunakan polistirena bekas sebagai bahan aditif merupakan salah satu cara untuk meminimalisir limbah tersebut. Pada penelitian ini digunakan *styrofoam* sebagai pengisi pada plat beton bertulangan bambu agar berat plat beton tersebut menjadi lebih ringan.

## 2.9 Kekakuan

Hubungan beban dan lendutan dari balok beton bertulang dapat diidealisasikan menjadi bentuk tiga garis lurus. Hubungan beban dan lendutan dari balok beton bertulang ini meliputi tiga tahap sebelum terjadinya kondisi runtuh. Tiga tahap hubungan beban dan lendutan dari balok beton bertulang 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.

Definisi kekakuan adalah 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:

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

(2-4)

Di mana:  $k$  = kekakuan

$P$  = beban

$\Delta$  = lendutan

### 2.9.1 Perhitungan Defleksi

Fungsi 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 merupakan defleksi batang struktural.

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

$$\Delta_{max} = K \frac{W \cdot l_n^3}{48EIc} \quad (2-5)$$

Di mana  $W$  = beban total bentang

$l_n$  = panjang bentang bersih

$E$  = modulus beton

$I_c$  = 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-roll dengan beban terpusat di tengahnya.

$$\Delta_{maks} = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot EI} \quad (2-6)$$

Di mana  $\Delta$  = defleksi

$P$  = besar beban terpusat

$l$  = panjang bentang bersih

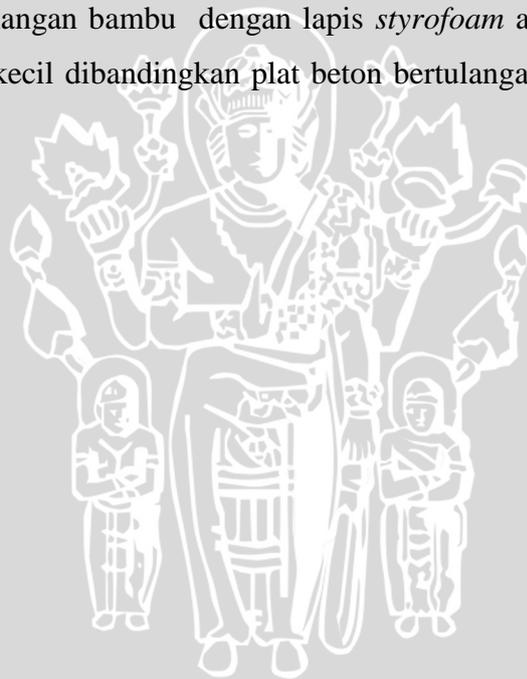
$E$  = modulus elastisitas

$I$  = momen inersia penampang

## 2.10 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 kecil dibandingkan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.
3. 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 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian yang dilakukan adalah pada semester genap bulan Agustus sampai Oktober tahun 2016.

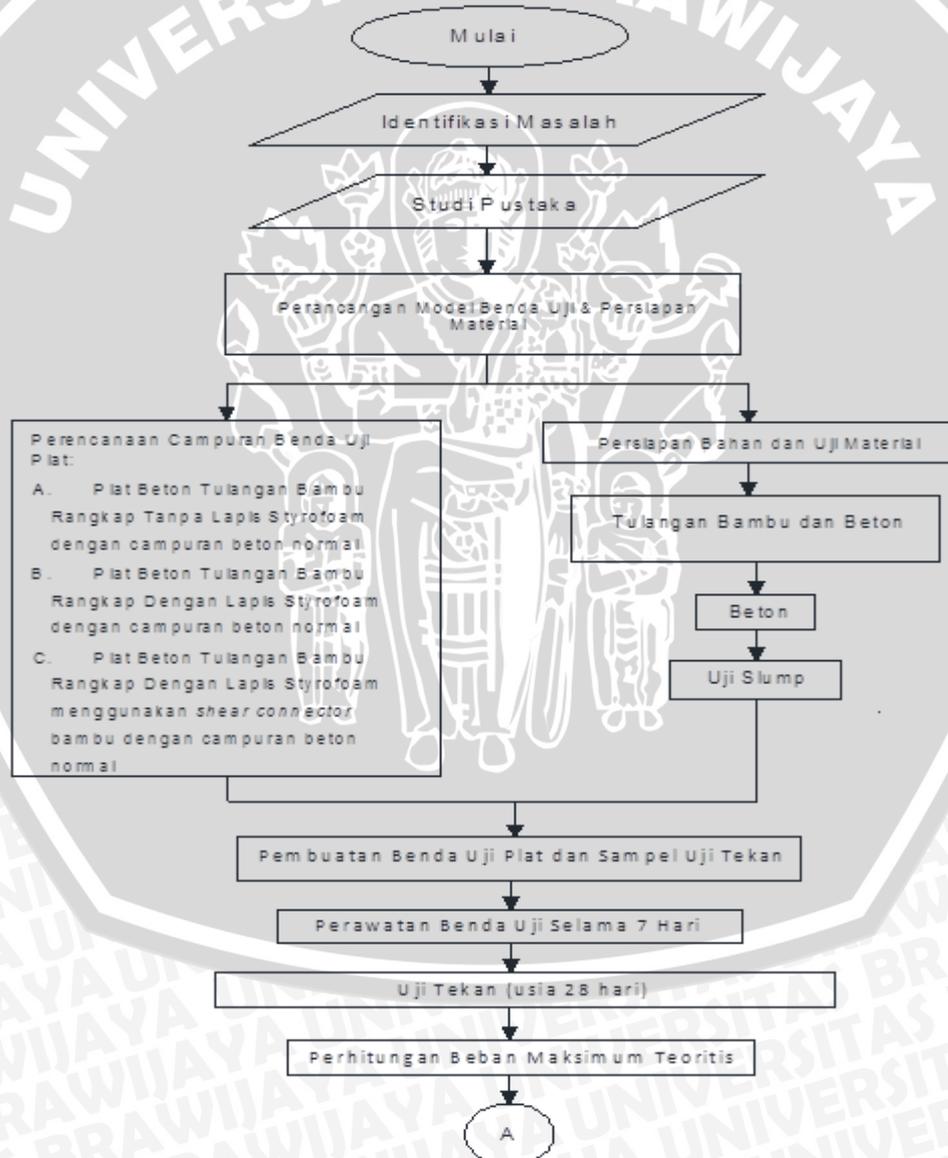
### 3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

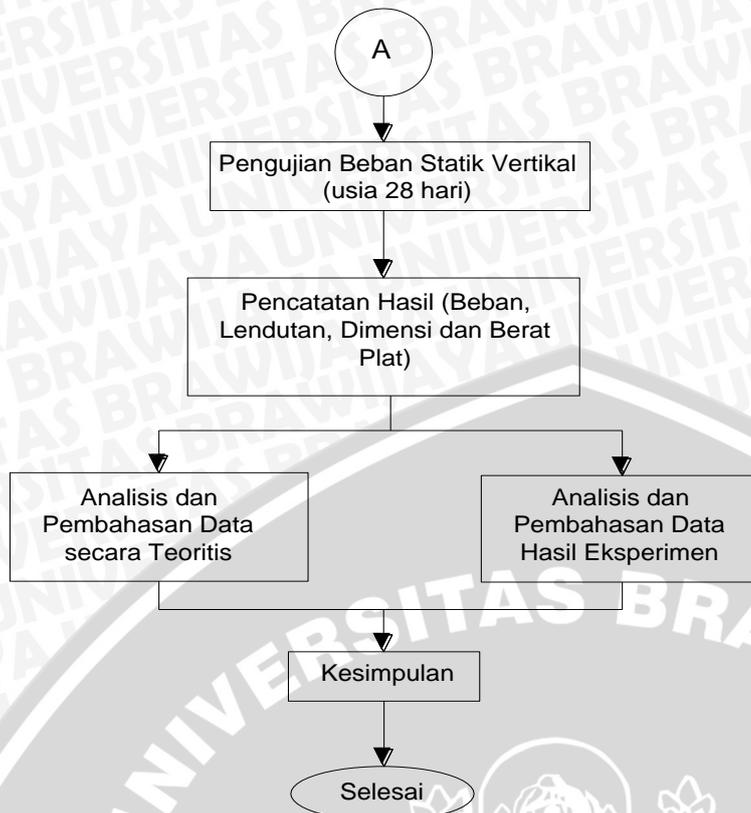
Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Peralatan
  - a. Timbangan
  - b. Molen
  - c. Gergaji kayu
  - d. Meteran
  - e. Kuas
  - f. Tang
  - g. Cutter
  - h. Bekisting
  - i. Cetakan silinder
  - j. Mesin uji tekan beton
  - k. Satu set alat penguji slump beton
  - l. *Vibrator*
  - m. *Loading frame*
  - n. Tumpuan
  - o. *Load cell & tranducer*
  - p. LVDT
  - q. *Hydraulic jack*
  - r. *Universal Testing Machine* untuk pengujian *pull-out*
  - s. Alat tulis
2. Bahan
  - a. Semen Portland (PC) tipe I
  - b. Agregat halus berupa pasir

- c. Batu koral 1-2 cm
- d. Air
- e. Tulangan bambu petung dengan dimensi penampang 6x6 mm
- f. Kawat bendrat
- g. *Shear connector*
- h. Cat kayu
- i. *Styrofoam*

### 3.3 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Prosedur Penelitian

1. Persiapan benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dengan ukuran 80x160x12 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 2x1 cm. Benda uji sebanyak 2 buah
2. Persiapan benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dengan ukuran 80x160x12 cm menggunakan *shear connector* dengan dimensi penampang tulangan bambu 2x1 cm. Benda uji sebanyak 2 buah
3. Persiapan benda uji plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* dengan ukuran 80x160x12 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 2x1 cm. Benda uji sebanyak 2 buah
4. Pembuatan bekisting
5. Pengecoran benda uji plat
6. Pengambilan sampel silinder beton sejumlah 2 buah pada masing-masing pengecoran
7. Perawatan benda uji selama 7 hari dengan cara disiram dan ditutup karung basah

8. Pengujian kuat tekan beton dari sampel plat setelah berumur 28 hari
9. 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
10. Rekap dan analisis data
11. Pembahasan hasil pengolahan data
12. Kesimpulan

### 3.5 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*)

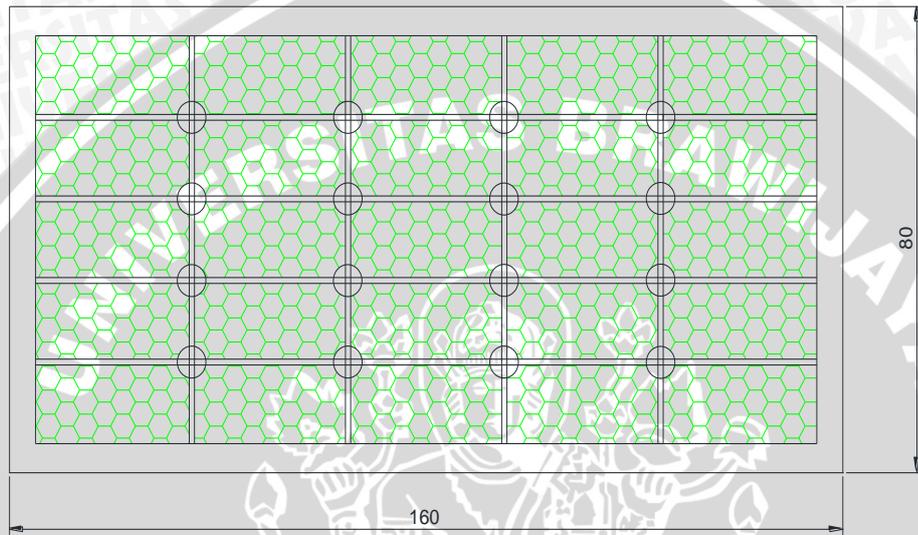
Variabel penelitian yang diukur dalam penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas (*antecedent*)
  - Jenis benda uji terdiri dari 3 jenis, yaitu plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*, plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* menggunakan *shear connector* dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*
- b. Variabel terikat (*dependent*)
  - Besar beban
  - Nilai lendutan

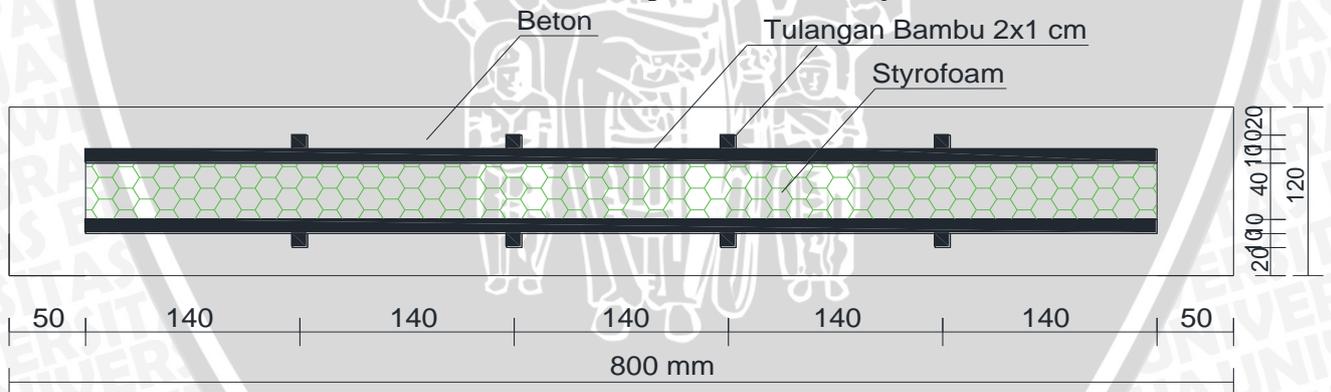
### 3.6 Benda Uji dan Setting

Benda uji berupa plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* dengan dimensi 80x160x12 cm dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* dengan dimensi 80x160x12 cm. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung. Dimensi tulangan bambu 2x1 cm dengan panjang 150 cm untuk tulangan arah memanjang dan 70 cm untuk tulangan arah melintang. Benda uji SN terdapat *shear connector* pada setiap pertemuan antara tulangan memanjang dan melintang yang berupa lubang berukuran 2x1 cm pada *styrofoam* yang nantinya akan terisi oleh beton. Benda uji SSB terdapat *shear connector* pada setiap pertemuan antara tulangan memanjang dan melintang yang berupa bambu berukuran 2x1 cm pada *styrofoam*. 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

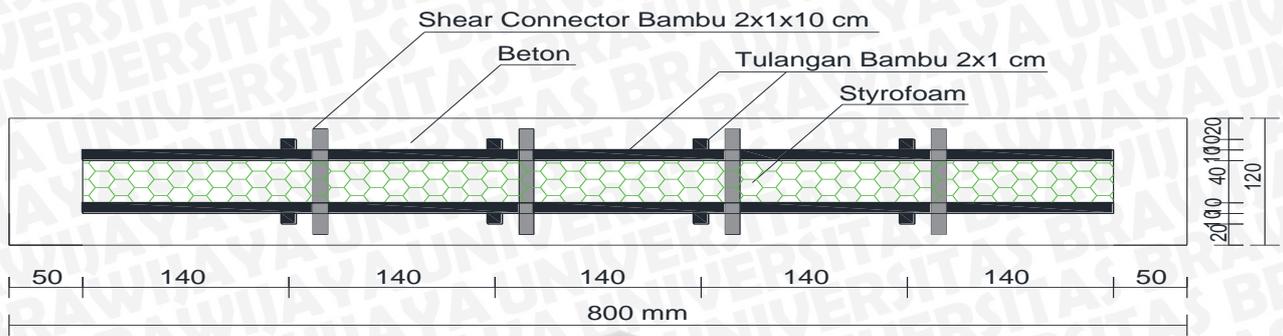
bambu dengan lapisan *styrofoam* sebanyak 4 buah dan plat beton bertulang bambu tanpa lapisan *styrofoam* sebanyak 2 buah. Jadi total benda uji berjumlah 6 buah.



**Gambar 3.2** Tampak Atas Benda Uji

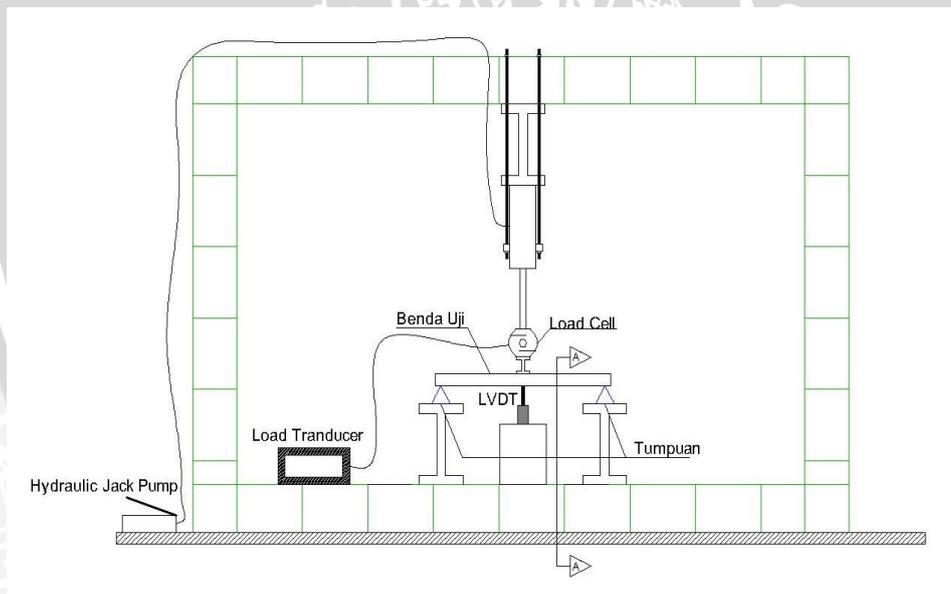


**Gambar 3.3** Detail Potongan Melintang Benda Uji SN

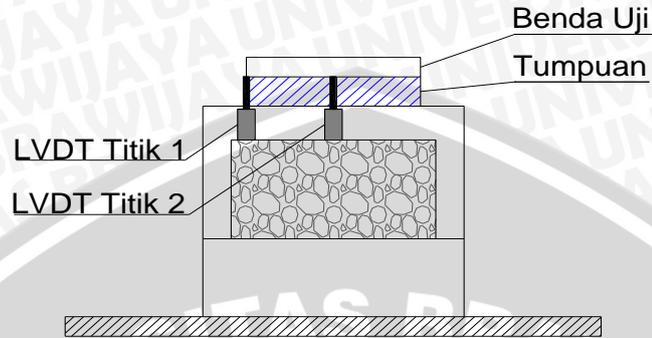


**Gambar 3.4** Detail Potongan Melintang Benda Uji SSB

*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.



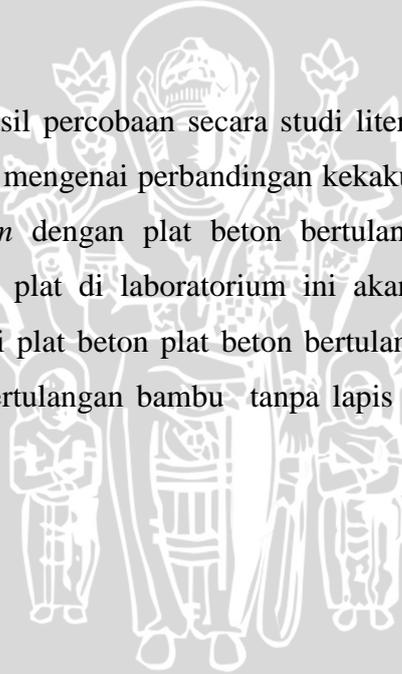
**Gambar 3.5** *Setting up* Pengujian



**Gambar 3.6** Posisi LVDT pada Pengujian Plat (Potongan A-A)

### 3.7 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:

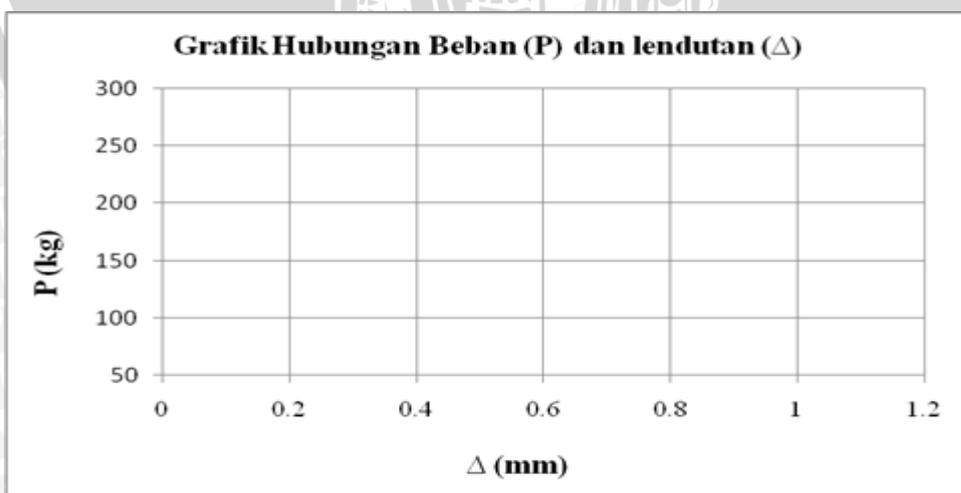


**Tabel 3.1** Rencana Form Data Benda Uji

**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 3.7** Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Defleksi ( $\Delta$ )





## 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

tipe plat	sampel	nilai slump	rata-rata	tipe plat	sampel	nilai slump	rata-rata
TS 1	1	13	11,25	SN 2	1	12	10,33
	2	11			2	11	
	3	12			3	8	
	4	9			1	11	
TS 2	1	12	10	SSB 1	2	11	10,33
	2	11			3	9	
	3	8			1	11	
	4	9			2	10	
SN 1	1	12	11	SSB 2	3	10	10,33
	2	11			2	10	
	3	10			3	10	

Berdasarkan tabel tersebut didapat rata-rata nilai diatas 10 cm yang menandakan bahwa campuran beton mudah untuk dikerjakan atau dipadatkan. 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 Perencanaan Mix Design Beton**

Pada perencanaan *mix design* ini bertujuan untuk membuat campuran beton dengan campuran semen, pasir, kerikil dengan perbandingan 1:1,5:2,5 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 2 cm, pasir, dan air.

**Tabel 4.3** Perencanaan Campuran *Mix Design*

tipe plat	kebutuhan 1 batching (kg)	jumlah pengecoran	rasio ( 1 : 0,6 : 1,5 : 2,5)			
			semen (kg)	air (kg)	agregat halus (kg)	agregat kasar (kg)
TS 1	100	4	71,4286	42,8571	107,1429	178,5714
TS 2	100	4	71,4286	42,8571	107,1429	178,5714
SN 1	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
SN 2	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
SSB 1	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
SSB 2	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
		Total	357,1429	214,2857	535,7143	892,8571

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan *mix design* tersebut didapatkan nilai berat campuran untuk 6 buah plat yaitu semen sebesar 358 kg, air sebesar 215 kg, agregat halus sebesar 534 kg, dan agregat kasar sebesar 893 kg.

### 4.1.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pembuatan benda uji kuat tekan beton ini diambil 4 sampel dari setiap benda uji. Pada pembuatan 6 buah benda uji diambil 24 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 28 hari setelah 1 hari dilepas dari bekistingnya. Kemudian dilakukan pengujian tekan.

**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

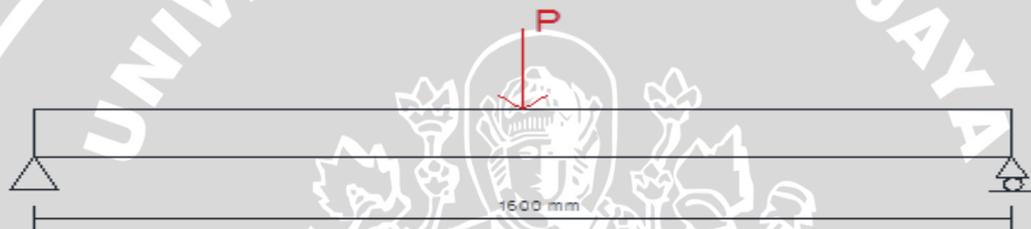
Benda Uji		Berat (Kg Pmax (N)	Kuat Tekan (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
TS 1 (7/08/2016)	1	12,5	479000	27,1058
	2	12,15	573000	32,4252
	3	12,25	665000	37,6313
	4	12,55	380000	21,5036
TS 2 (8/08/2016)	1	12,25	547000	30,9538
	2	12,25	427000	24,1632
	3	12,4	546000	30,8973
	4	12,3	455000	25,7477
SN 1 (10/08/2016)	1	12,4	583000	32,991
	2	12,25	543000	30,7275
	3	12,45	445000	25,1818
	4	12,7	637000	36,0468
SN 2 (11/08/2016)	1	12,25	381000	21,5601
	2	12,05	496000	28,0678
	3	12,2	464000	26,257
	4	12,15	385000	21,7865
SSB 1 (15/08/2016)	1	12	428000	24,2198
	2	12,5	488000	27,6152
	3	12,05	312000	17,6555
	4	12,25	470000	26,5966
SSB 2 (16/08/2016)	1	12,2	662000	37,4615
	2	12,2	276000	15,6184
	3	12,5	515000	29,143
	4	12,25	600000	33,953

Dari hasil pengujian kuat tekan beton tersebut didapat nilai kuat tekan beton berkisar antara 20-30 Mpa, sedangkan mutu beton yang disyaratkan pada *mix design* sebesar 20 MPa. Hasil pengujian kuat tekan beton seharusnya memiliki nilai yang sama namun karena perbedaan kondisi agregat saat pengecoran mengakibatkan terdapat variasi pada nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan yang digunakan adalah 24,02 Mpa karena dapat mewakili benda uji lainnya.

## 4.2 Analisa Perhitungan Beban Maksimum ( $P_u$ ) Teoritis

### 4.2.1 Pemodelan Struktur

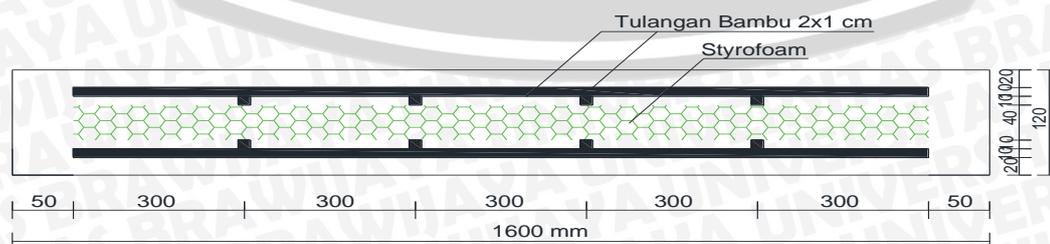
Sebelum dilakukan analisa perhitungan beban maksimum ( $P_u$ ) secara teoritis harus dilakukan pemodelan struktur terlebih dahulu. Plat diasumsikan sebagai gelagar balok dengan tumpuan sendi sendi. Beban yang bekerja diasumsikan sebagai beban vertikal terpusat di tengah bentang.



Gambar 4.1 Pemodelan Pembebanan Struktur

### 4.2.2 Kapasitas Lentur

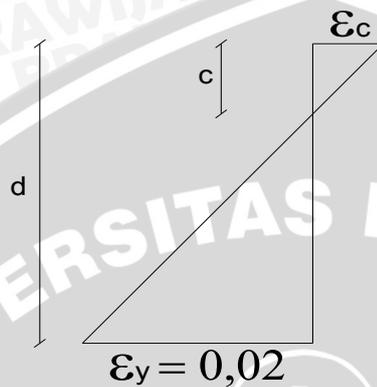
Perhitungan beban maksimum secara teoritis dilakukan dengan cara analisis penampang segiempat beton bertulang sehingga akan didapatkan kapasitas lenturnya. Plat diasumsikan sebagai balok bertulangan tunggal yakni tarik saja. Karena dianggap tulangan tekan hanya berpengaruh sangat kecil dalam menambah 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 4.2 Detail Penampang

Pada perhitungan diasumsikan baja tarik sudah mengalami leleh sehingga  $f_s = f_y$ .

Ditentukan  $\epsilon_y$  (regangan bambu) = 0,02.



**Gambar 4.3** Diagram Tegangan Penampang

Diketahui,

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d = 95 \text{ mm}$$

$$A_s = 4 \times 20 \times 10 = 800 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = 24,02 \text{ MPa}$$

$$E_c = 23034,8 \text{ MPa}$$

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

$$\epsilon_y = 0,02$$

Penyelesaian

- Asumsi beton telah mencapai regangan batasnya

Persamaan keseimbangan gaya

$$T = Cc$$

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

$$800 \cdot 180 = 0,85 \cdot 24,02 \cdot a \cdot 800$$

$$144000 = 16333,6 \cdot a$$

$$a = 8,8162$$

kemudian dapat dihitung nilai c

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

$$c = \frac{8,8162}{0,85}$$

$$c = 10,372 \text{ mm}$$

Kemudian dapat dihitung momen nominalnya

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

$$Mn = 800.180(95 - \frac{8,82}{2})$$

$$Mn = 13044960 \text{ Nmm}$$

Sehingga beban maksimum ( $P_u$ ) teoritisnya

$$P_u = \frac{13044960 * 4}{1600}$$

$$P_u = 32612,4 \text{ N} = 3261,24 \text{ kg}$$

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,

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

$$f'_c = 24,02 \text{ Mpa}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$A_s = 800 \text{ mm}^2$$

Penyelesaian

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

$$\rho = \frac{800}{800.95}$$

$$\rho = 0,01$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = 0,85 \frac{0,85 \cdot 24,02}{180} \cdot \frac{600}{600 + 180}$$

$$\rho_b = 0,0742$$

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

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

$$A_{sb} = 0,0742 \cdot 800 \cdot 85$$

$$A_{sb} = 3209,6$$

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

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

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

$$a = \frac{800 \cdot 24,02}{0,85 \cdot 24,02 \cdot 800}$$

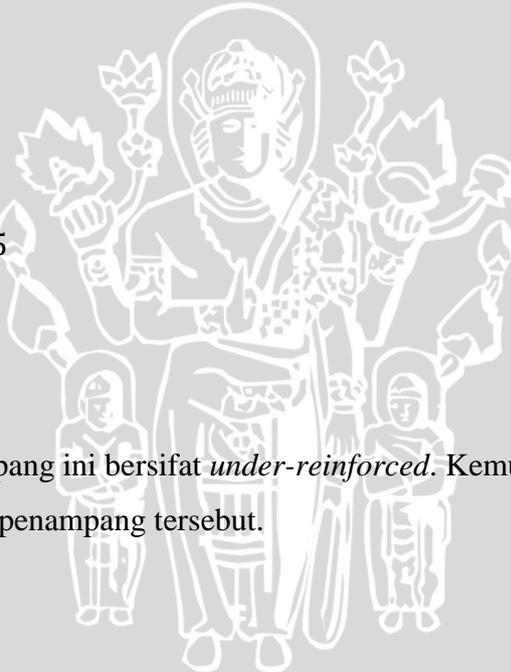
$$a = 1,18$$

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

$$M_n = 800 \cdot 180 \left( 95 - \frac{1,18}{2} \right)$$

$$M_n = 13595040 \text{ Nmm} = 1359,5 \text{ kgm}$$

$$P_n = \frac{1359,5 \cdot 4}{1,6}$$



$$P_n = 3398,75 \text{ kg}$$

Jadi beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat sebesar 3261,24 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 Analisa Lendutan Plat Beton

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 menggunakan I kritis karena dihitung pada saat plat mengalami retak awal dan modulus elastisitas plat dari pengujian ke dalam rumus berikut ini:

$$\Delta = \frac{P \cdot l^3}{48EI} \quad (4-1)$$

Perhitungan Pcr Teoritis

Diketahui,

$$f'_t = 0,6\sqrt{f'_c} = 2,94 \text{ Mpa}$$

$$y = 60 \text{ mm}$$

$$I_t = 115073280 \text{ mm}^4$$

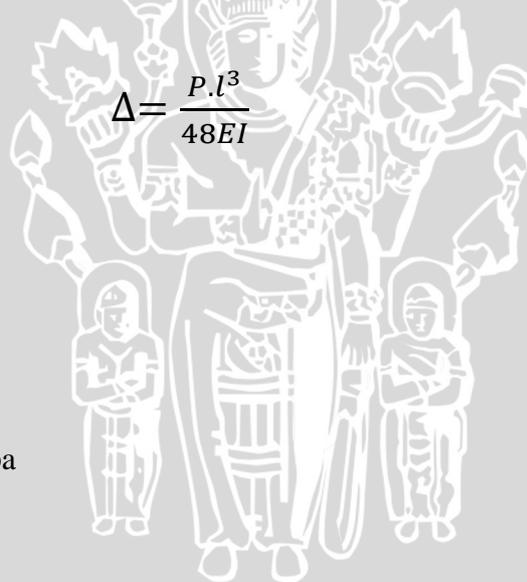
$$l = 1,6 \text{ m}$$

Penyelesaian,

$$M_{cr} = f'_t I_t / y$$

$$= 2,94 \times 115073280 / 60$$

$$= 5638590,7 \text{ Nmm} = 563,86 \text{ Kgm}$$



$$\begin{aligned}
 P_{cr} &= M_{cr} \times 4/l \\
 &= 563,86 \times 4/1,6 \\
 &= 1409,65 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Diketahui,

$$P = 1400 \text{ kg (keadaan retak awal)}$$

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

$$f'_c = 24,02 \text{ Mpa}$$

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 23034,8 \text{ Mpa}$$

$$E_{\text{bambu}} = 20000 \text{ Mpa}$$

$$n = E_{\text{bambu}} / E_{\text{beton}} = 0,8682$$

$$A_s = 800 \text{ mm}^2$$

Penyelesaian

$$n \times A_s = 0,8682 \times 800 = 694,6012 \text{ mm}^2$$

$$(b \times d_{cr} + n \times A_s) \times d_{cr} = (b \times d_{cr}^2/2) + (n \times A_s) \times d_{cr}$$

$$(800d_{cr} + 694,6012) \times d_{cr} = (400d_{cr}^2) + (694,6012) \times 95$$

$$800d_{cr}^2 + 694,6d_{cr} = 400d_{cr}^2 + 65987,1$$

$$d_{cr}^2 + 1,7365d_{cr} - 164,9678 = 0$$

$$d_{cr} 1 = -1,7365 + \frac{\sqrt{1,7365^2 - 4 \times (-164,9678)}}{2} = 12 \text{ mm}$$

$$d_{cr} 2 = -1,7365 - \frac{\sqrt{1,7365^2 - 4 \times (-164,9678)}}{2} = -13,74 \text{ mm}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} \times b \times d_{cr}^3 + b \times d_{cr} \times \frac{1}{2} d_{cr}^2 + n \times A_s \times (95-12)^2$$

$$= 115200 + 345600 + 4785107,67$$

$$\begin{aligned}
 &= 5245907,467 \text{ mm}^4 \\
 \Delta &= \frac{Pl^3}{48 E I cr} \\
 &= \frac{1400 \times 1600^3}{48 \times 23034,8 \times 5245907,467} \\
 &= 0,98 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

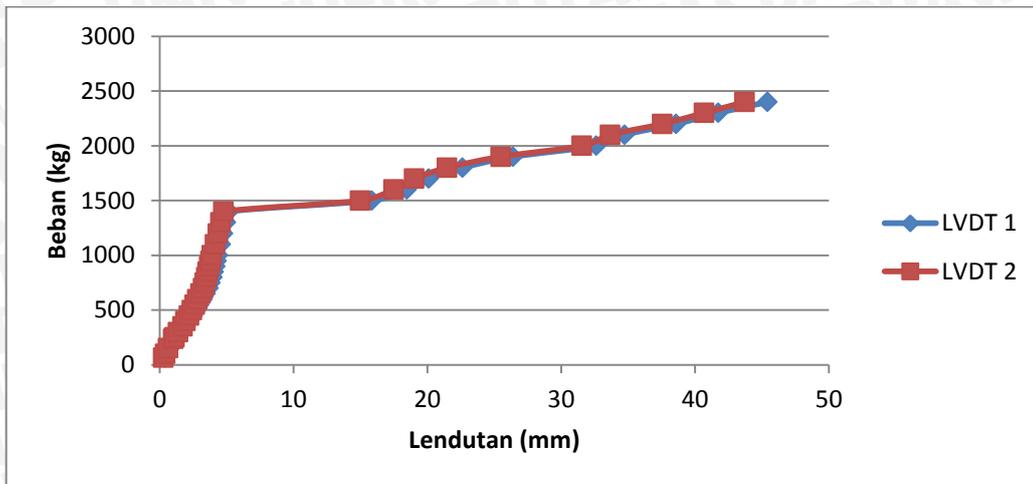
Hasil perhitungan lendutan yang terjadi berdasarkan perhitungan teoritis dibandingkan dengan lendutan dari hasil pembacaan LVDT. Nilai perbandingan tersebut dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho_{\Delta} = \frac{P \Delta \text{ aktual} - P \Delta \text{ teoritis}}{P \Delta \text{ aktual}} \times 100\% \quad (4-2)$$

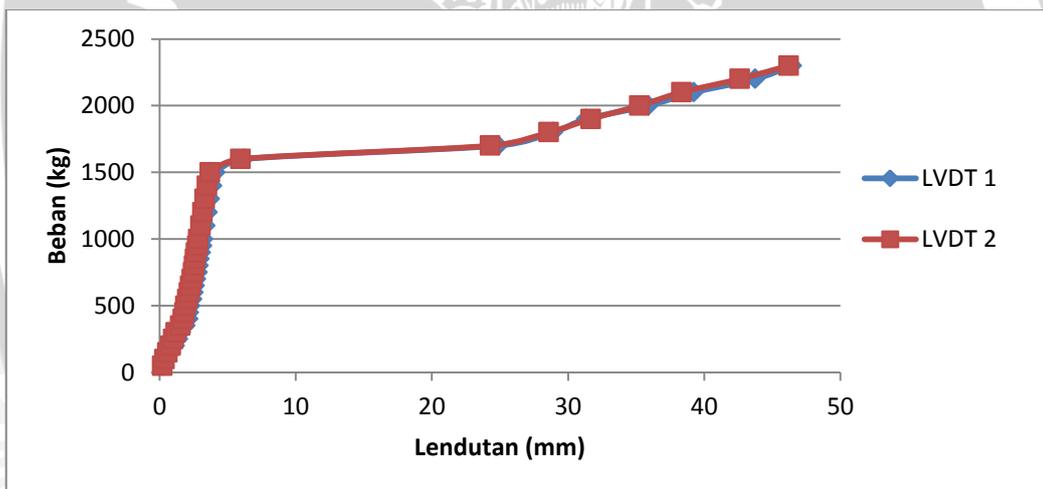
**Tabel 4.5** Perbandingan antara Lendutan Hasil Eksperimen dengan Teoritis

Benda uji	Beban Retak (kg)	Beban Retak Teoritis (kg)	Lendutan Aktual Rata-rata (mm)	Lendutan Teoritis (mm)	Perbandingan Selisih (%)
TS-1	1400	1409,65	4,965	0,98	80,26
TS-2	1400	1409,65	3,68	0,98	73,37
SN-1	1300	1357,38	7,725	1,137	85,28
SN-2	1000	1357,38	1,43	0,8751	38,8
SSB-1	1200	1357,38	3,18	1,0501	66,98
SSB-2	1200	1357,38	3,81	0,7074	72,44

Hasil perbandingan lendutan eksperimen dengan teoritis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar. Hal ini diakibatkan pada perhitungan lendutan teoritis modulus elastisitas menggunakan rumus empiris sehingga terjadi perbedaan dengan modulus elastisitas aktual dikarenakan rumus empiris untuk mencari modulus elastisitas hanya berlaku pada beton normal.

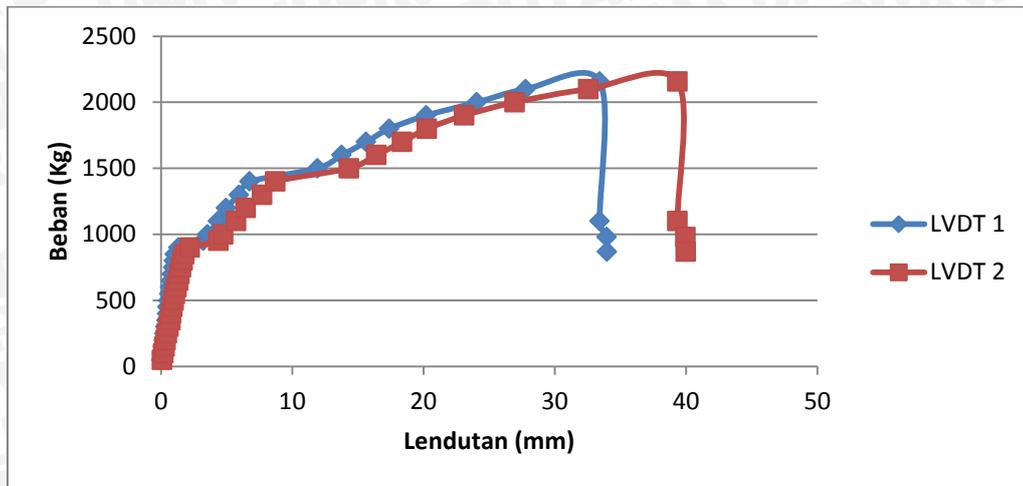


**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji TS-1

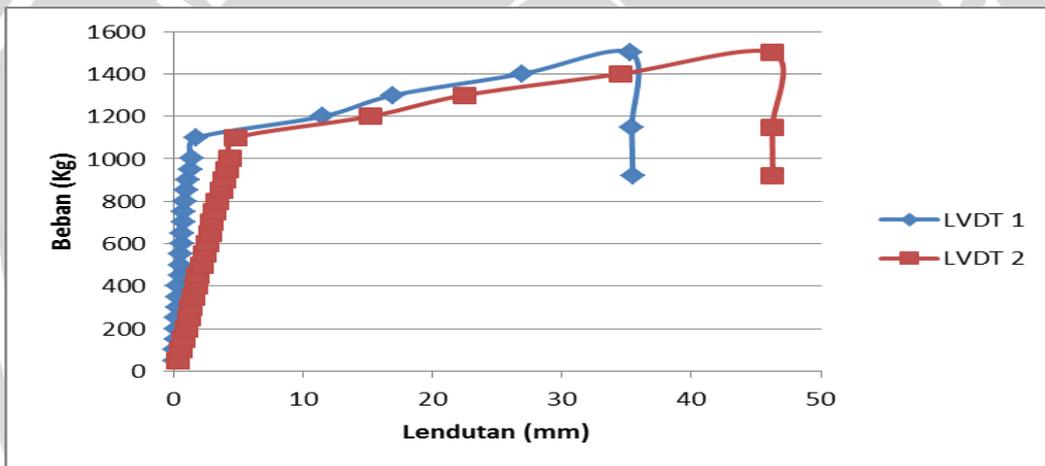


**Gambar 4.5** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji TS-2

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji tanpa *styrofoam*. Benda uji TS-1 mengalami retak awal pada beban 1400 kg dan dapat menahan beban maksimum sebesar 2630 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif kecil. Sedangkan pada benda uji TS-2 mengalami retak awal pada beban 1400 kg dan dapat menahan beban maksimum sebesar 2600 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih kecil dari benda uji TS-1. Alat uji LVDT dilepas pada saat pembacaan lendutan mencapai 50 mm sehingga beban maksimum tidak dapat ditampilkan dalam grafik benda uji TS-1 dan TS-2 karena keterbatasan alat.

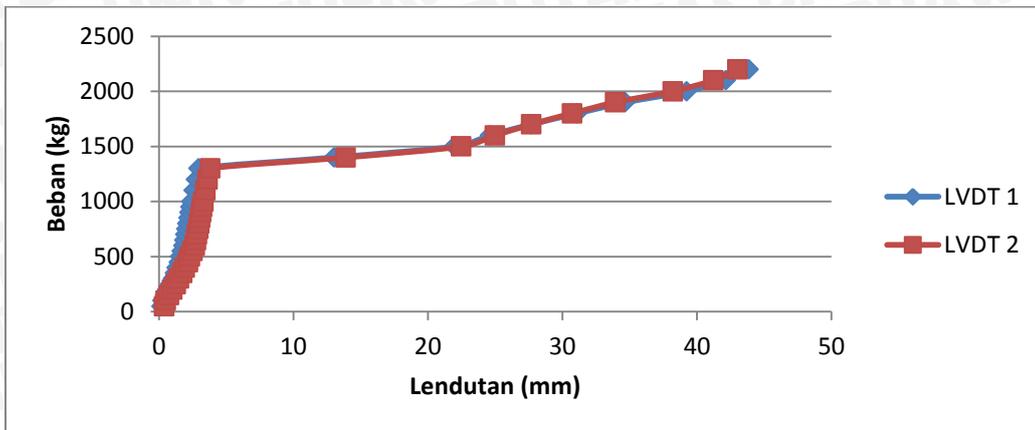


**Gambar 4.6** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SN-1

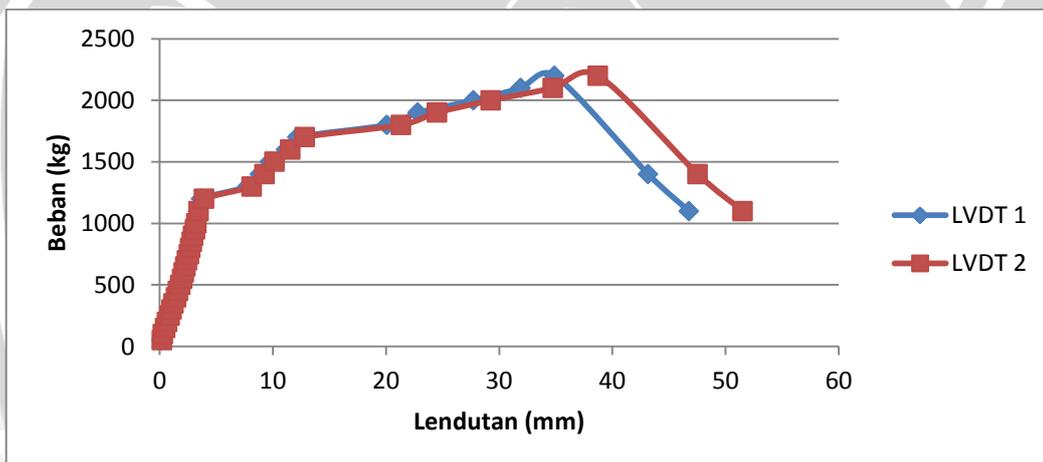


**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SN-2

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji dengan lapis *styrofoam*. Benda uji SN-1 mengalami retak awal pada beban 1300 kg dan dapat menahan beban maksimum sebesar 2157 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih besar dibandingkan dengan SN-2. Benda uji SN-2 mengalami retak awal pada beban 1000 kg dan dapat menahan beban maksimum sebesar 1500 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih kecil dibandingkan dengan plat SN-1. Terjadi perbedaan pembacaan LVDT pada kedua benda uji, hal ini dikarenakan benda uji kurang monolit. Elemen penyusun benda uji tidak bekerja secara bersamaan mengakibatkan perbedaan distribusi beban yang diterima. Perbedaan distribusi beban menghasilkan pembacaan lendutan yang berbeda.

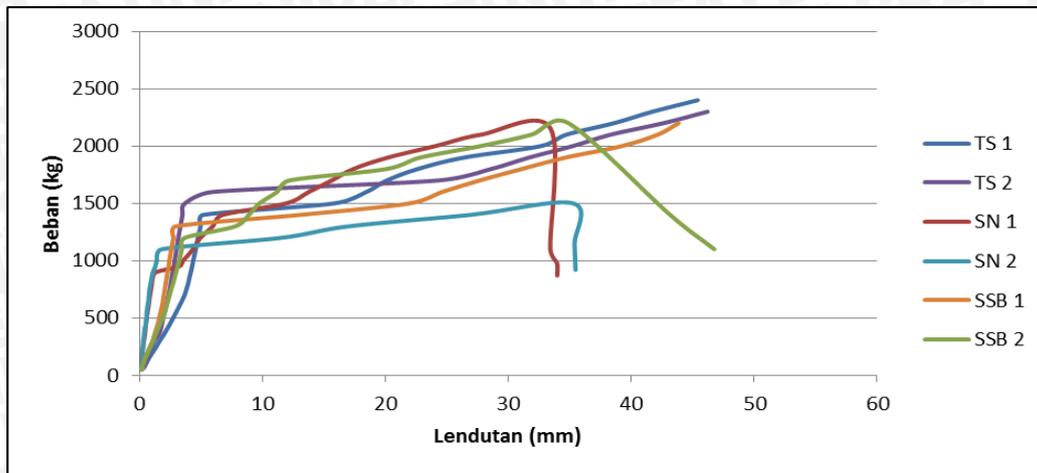


**Gambar 4.8** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SSB-1

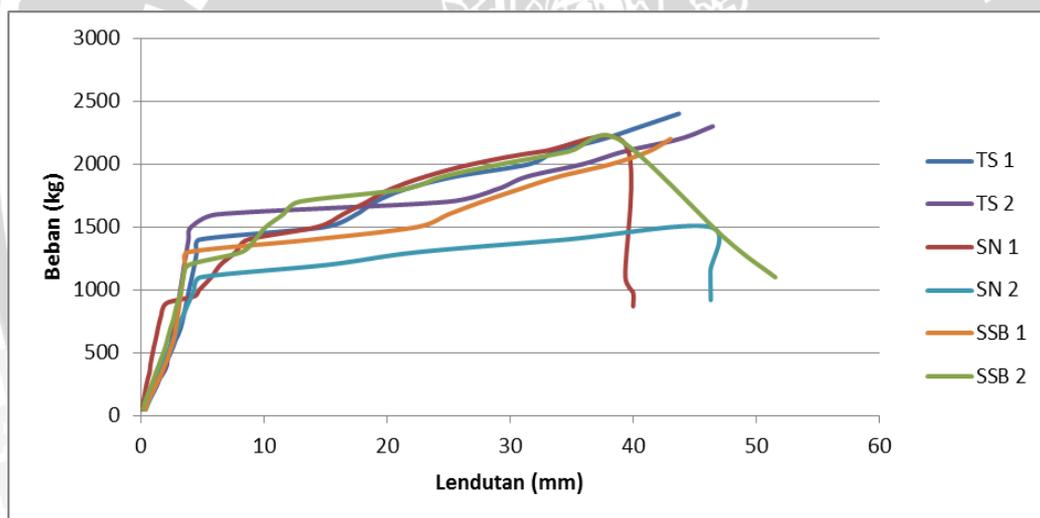


**Gambar 4.9** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan untuk Benda Uji SSB-2

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji dengan lapis *styrofoam* menggunakan *shear connector* bambu. Benda uji SSB-1 mengalami retak awal pada beban 1200 kg dan dapat menahan beban maksimum sebesar 2200 kg hal ini tidak jauh berbeda dengan benda uji SSB-2. Terjadi perbedaan pembacaan LVDT pada benda uji SSB-2, hal ini dikarenakan perbedaan distribusi beban. Perbedaan distribusi beban tersebut karena benda uji mengalami lendutan awal yang berbeda sehingga permukaan tidak rata. Lendutan ini mengakibatkan perbedaan pembacaan ketika mendekati beban maksimum. Alat uji LVDT dilepas pada saat pembacaan lendutan mencapai 50 mm sehingga beban maksimum tidak dapat ditampilkan dalam grafik benda uji SSB-1 karena keterbatasan alat.



**Gambar 4.10** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1



**Gambar 4.11** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji tanpa lapis *styrofoam*, benda uji dengan lapis *styrofoam*, dan benda uji dengan lapis *styrofoam* menggunakan *shear connector* bambu. Pada tahap praretak benda uji TS dapat menahan beban rata-rata sebesar 1300 kg dan benda uji SSB dapat menahan beban rata-rata sebesar 1200 mendekati benda uji TS. Sementara untuk benda uji SN dapat menahan beban rata-rata sebesar 1150 lebih kecil dari kedua jenis benda uji lainnya. Benda uji TS memiliki durabilitas yang tinggi hal ini dibuktikan dengan panjang grafiknya, sama halnya dengan benda uji SSB yang memiliki durabilitas yang mendekati

benda uji TS. Untuk benda uji SN, durabilitasnya lebih rendah dibandingkan dengan dua jenis benda uji lainnya. Lendutan yang terjadi pada plat beton tanpa lapis *styrofoam* lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam*. Hal ini dapat diketahui dari rata-rata lendutan aktual untuk plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 45,44 mm lebih besar dari plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 38,57 mm. Penambahan *shear connector* bambu menambah kekuatan struktur yang dapat dibuktikan dengan lendutan aktual rata-rata sebesar 40,125 mm lebih besar dari plat beton dengan lapis *styrofoam* normal dan mendekati plat tanpa *styrofoam*. Hal ini mungkin dikarenakan penambahan *shear connector* membuat plat semakin monolit sehingga menambah kekuatannya.

#### 4.4 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.

##### 4.4.1 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,

$$A_s = 800 \text{ mm}^2$$

$$d = 95 \text{ mm}$$

$$E_{\text{bambu}} = 20000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 23034,8 \text{ Mpa}$$

Penyelesaian

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

$$n = \frac{20000}{23034,8}$$

$$n = 0,8682$$

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

$$A = 800 \cdot 120 + (0,8682 - 1) \cdot 800$$

$$A = 95894,6 \text{ mm}^2$$

Dimensi penampang baru dengan asumsi tinggi tetap 120 mm akan menjadi

$$A = b \cdot h$$

$$95894,6 = b \cdot 120$$

$$b = 799,12 \text{ mm}$$

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

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

$$I_1 = \frac{1}{12} 799,12 \cdot 120^3$$

$$I_1 = 115073280 \text{ mm}^4$$

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

$$I_{\text{styrofoam}} = \frac{1}{12} 800 \cdot 40^3$$

$$I_{\text{styrofoam}} = 4266666,667 \text{ mm}^4$$

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

$$I_2 = 115073280 - 4266666,667$$

$$I_2 = 110806613,3 \text{ mm}^4$$

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:

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

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

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

$$k_1 = \frac{48 \cdot 20000 \cdot 115073280}{1600^3}$$

$$k_1 = 26970,3 \text{ N/mm} = 2697,03 \text{ kg/mm}$$

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

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

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

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

$$k_2 = \frac{48 \cdot 20000 \cdot 110806613,3}{1600^3}$$

$$k_2 = 25970,3 \text{ N/mm} = 2597,03 \text{ kg/mm}$$

berdasarkan hasil perhitungan teoritis, didapatkan nilai kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 2697,03 kg/mm sedangkan nilai kekakuan plat beton dengan lapis

*styrofoam* sebesar 2597,03 kg/mm. Kemudian dihitung perbandingan selisih antara kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* dengan kekakuan plat beton lapis *styrofoam* menggunakan rumus:

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

$$\rho_k = \frac{2697,03 - 2597,03}{2697,03} \times 100\%$$

$$\rho_k = 3,71 \%$$

Sehingga didapat nilai perbandingan selisih antara kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* dengan kekakuan plat beton lapis *styrofoam* sebesar 3,71%

#### 4.4.2 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.

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (4-3)$$

**Tabel 4.6** Perbandingan Perhitungan Kekakuan Plat Berdasarkan Hasil Eksperimen dan Perhitungan Teoritis

Nama Benda Uji	P (Praretak) Aktual (Kg)	Kekakuan (Kg/mm)	Rata-rata Kekakuan Aktual (Kg/mm)	Kekakuan Teoritis (Kg/mm)
TS-1	1300	273,68	322	2697,03
TS-2	1300	370,37		
SN-1	1200	210,34	281,1	2597,03
SN-2	950	351,85		
SSB-1	1100	364,84	342,3	
SSB-2	1100	319,77		

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* adalah sebesar 322 kg/mm, penambahan *styrofoam* sebagai bahan pengisi menurunkan kekakuan rata-rata benda uji. Hal ini dibuktikan dengan benda uji SN-1 dan SN-2 memiliki kekakuan rata-rata sebesar 281,1 kg/mm dengan selisih sekitar 12,7% lebih kecil dari benda uji TS. Penambahan *shear connector* bambu pada plat *styrofoam*

berdampak positif dengan hasil kekakuan rata-rata yang meningkat. Kekakuan rata-rata SSB sebesar 342,3 kg/mm lebih besar dari kekakuan rata-rata benda uji TS yang memiliki selisih 5,9%. Perbedaan kekakuan dapat dilihat pada grafik 4.10 dan 4.11 dimana benda uji TS dan SSB memiliki derajat kemiringan yang kecil menandakan kekakuan yang tinggi sementara benda uji SN memiliki derajat kemiringan yang sedikit lebih besar dari kedua benda uji lainnya menandakan kekakuan yang lebih rendah.

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis nilai kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 2697,03 kg/mm dan nilai kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 2597,03 kg/mm. Sedangkan berdasarkan hasil uji eksperimen kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 322 kg/mm, nilai kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 281,1 kg/mm, dan nilai kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* menggunakan *shear connector* bambu sebesar 342,3 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. Oleh karena itu perlu digunakan perlakuan khusus pada *styrofoam* sehingga dapat menambah daya dukung dari plat itu sendiri. Penggunaan *shear connector* bambu bertujuan untuk menambah kemungkinan plat bekerja sebagai satu kesatuan (monolit) yang dapat dibuktikan dengan hasil eksperimental yang menunjukkan bahwa penambahan *shear connector* bambu menambah kekuatan dan kekakuan dari plat yang menggunakan *styrofoam*.



## BAB V

## PENUTUP

## 5.1 Kesimpulan

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

1. Lendutan yang terjadi pada plat beton tanpa lapis *styrofoam* lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam*. Hal ini dapat diketahui dari rata-rata lendutan aktual untuk plat beton tanpa lapis *styrofoam* sebesar 45,44 mm lebih besar dari plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 38,57 mm. Penambahan *shear connector* bambu menambah kekuatan struktur yang dapat dibuktikan dengan lendutan aktual rata-rata sebesar 40,125 mm lebih besar dari plat beton dengan lapis *styrofoam* normal dan mendekati plat tanpa *styrofoam*.
2. Plat beton tanpa lapis *styrofoam* memiliki kekakuan yang lebih besar daripada plat beton dengan lapis *styrofoam* dengan selisih sebesar 12,7%. Hal ini dapat dibuktikan bahwa rata-rata kekakuan plat beton tanpa *styrofoam* sebesar 322 kg/mm, sedangkan rata-rata kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* sebesar 281,1 kg/mm. Penambahan *shear connector* bambu menambah kekuatan struktur yang dapat dibuktikan dengan rata-rata kekakuan sebesar 342,3 kg/mm, terdapat perbedaan selisih sebesar 17,9% lebih besar terhadap kekakuan plat beton dengan lapis *styrofoam* normal dan lebih besar dari kekakuan plat beton tanpa lapis *styrofoam* dengan selisih 5,9%.

## 5.2 Saran

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

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh tebal *styrofoam* terhadap kekakuan plat beton.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai tebal plat, letak penempatan, dan jenis *shear connector* sehingga dapat dicapai kondisi dengan adanya lapis *styrofoam* penurunan berat volume lebih besar namun penurunan kekakuannya lebih kecil.
3. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*, misalnya dengan tumpuan yang berbeda.





## DAFTAR PUSTAKA

- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Ghavami, K. 2004. Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, *Cement & Concrete Composites*. 27 (2005): 637-649.
- Janssen, J. J. A. 2000. *Designing and Building with Bamboo*. Technical Report No. 20. INBAR.
- 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.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nindyawati. 2014. *Panel Dinding Beton Ringan Bertulangan Bambu*. Disertasi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang : Bargie Media.
- Pathurahman, J. F. & Kusuma, D. A. 2003. Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton. *Dimensi Teknik Sipil*. V(1): 39-44.
- Putra, D., Sedana, W. I., & Santika, K. B. 2007. Kapasitas Lentur Plat Beton Bertulangan Bambu. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. XI(1): 45-54.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Wibowo, A., Bidur Kafle, Alireza M. Kermani, Nelson Lam, John Wilson, Emad Gad. (2008). Damage in the 2008 China Earthquake. *Procs. of Australian Earthquake Engineering Society Conference*, Ballarat, Australia, 21-23 November.
- Wibowo, A., Indradi Wijatmiko, Christin Nainggolan. (2016). Bamboo Reinforced Concrete Slab with Styrofoam Lamina Filler as Solution of Lightweight Concrete Application. *Procs. of Sriwijaya International Conference on Engineering, Science and Technology*, Bangka Island, Indonesia, 9-10 November.

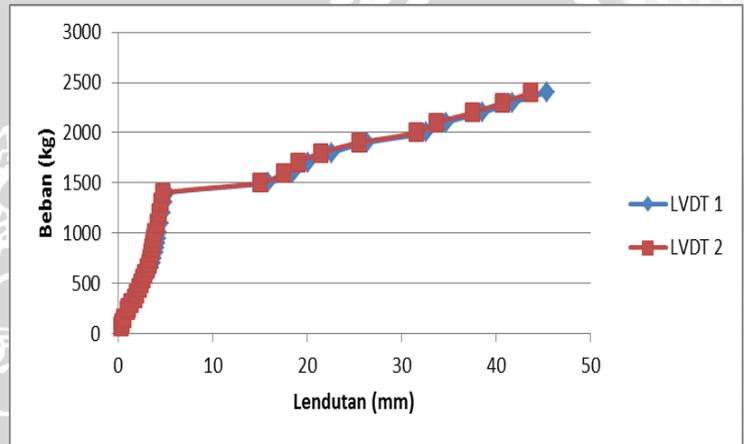


## Lampiran 1 Data Pengujian Pembebanan Plat

### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji : TS-1  
 Tanggal pengujian : 07/08/2016  
 Tempat Pengujian : Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB  
 Komposisi benda uji : Beton  
 Ukuran Benda Uji : 160 x 80 x 12 cm  
 Umur Benda Uji : 28 hari

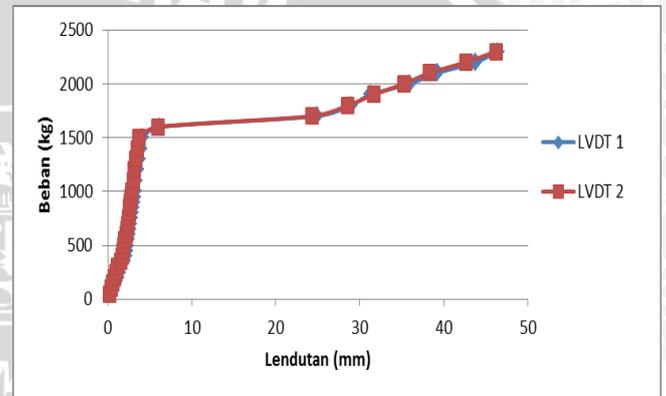
NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)	
		LVDT1	LVDT2
1	66	0,36	0,27
2	100	0,52	0,42
3	152	0,77	0,64
4	238	1,29	1,02
5	252	1,37	1,12
6	300	1,63	1,37
7	350	1,94	1,71
8	400	2,21	1,94
9	450	2,48	2,19
10	500	2,72	2,42
11	550	2,97	2,63
12	600	3,21	2,82
13	650	3,45	3,06
14	700	3,66	3,25
15	750	3,81	3,38
16	800	3,95	3,49
17	850	4,05	3,6
18	900	4,16	3,71
19	950	4,27	3,81
20	1000	4,36	3,91
21	1100	4,57	4,14
22	1200	4,74	4,36
23	1300	4,96	4,54
24	1400	5,17	4,76
25	1500	15,84	14,97
26	1600	18,46	17,48
27	1700	20,11	19,03
28	1800	22,63	21,47
29	1900	26,39	25,48
30	2000	32,63	31,55
31	2100	34,73	33,66
32	2200	38,59	37,56
33	2300	41,73	40,67
34	2400	45,41	43,7
35	2500		
36	2600		
37	2630		



### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji : **TS-2**  
 Tanggal pengujian : 09/08/2016  
 Tempat Pengujian : Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB  
 Komposisi benda uji : Beton  
 Ukuran Benda Uji : 160 x 80 x 12 cm  
 Umur Benda Uji : 28 hari

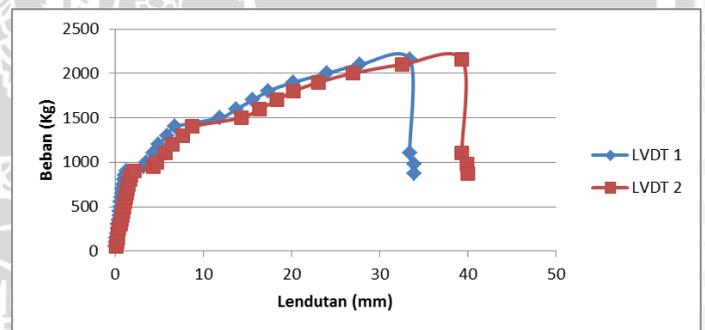
NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)	
		LVDT1	LVDT2
1	50	0,29	0,2
2	100	0,53	0,37
3	150	0,83	0,58
4	200	1,11	0,81
5	250	1,35	1
6	300	1,56	1,19
7	350	1,89	1,53
8	400	2,11	1,71
9	450	2,17	1,82
10	500	2,26	1,91
11	550	2,4	2,05
12	600	2,49	2,16
13	650	2,59	2,26
14	700	2,69	2,36
15	750	2,79	2,46
16	800	2,87	2,53
17	850	2,94	2,61
18	900	3,04	2,69
19	950	3,12	2,78
20	1000	3,2	2,85
21	1100	3,37	3,01
22	1200	3,52	3,15
23	1300	3,7	3,32
24	1400	3,87	3,49
25	1500	4,09	3,69
26	1600	6,17	5,93
27	1700	24,86	24,29
28	1800	28,92	28,59
29	1900	31,34	31,68
30	2000	35,9	35,24
31	2100	39,23	38,33
32	2200	43,75	42,61
33	2300	46,45	46,21
34	2400		
35	2500		
36	2600		



### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji : **SN-1**  
 Tanggal pengujian : 011/08/2016  
 Tempat Pengujian : Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB  
 Komposisi benda uji : Beton  
 Ukuran Benda Uji : 160 x 80 x 12 cm  
 Umur Benda Uji : 28 hari

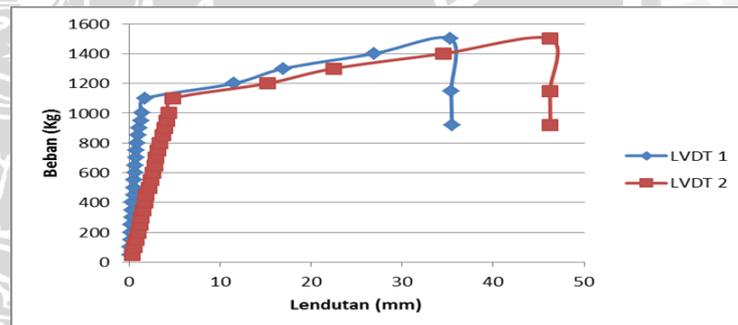
NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)	
		LVDT1	LVDT2
1	50	0,04	0,08
2	100	0,09	0,18
3	150	0,15	0,28
4	200	0,22	0,36
5	250	0,28	0,46
6	300	0,34	0,58
7	350	0,42	0,72
8	400	0,47	0,77
9	450	0,51	0,86
10	500	0,58	0,96
11	550	0,64	1,06
12	600	0,72	1,19
13	650	0,78	1,3
14	700	0,85	1,4
15	750	0,93	1,52
16	800	1	1,66
17	850	1,07	1,77
18	900	1,33	2,18
19	950	3,21	4,36
20	1000	3,54	4,74
21	1100	4,34	5,71
22	1200	4,95	6,46
23	1300	5,95	7,7
24	1400	6,75	8,7
25	1500	11,92	14,32
26	1600	13,77	16,4
27	1700	15,63	18,37
28	1800	17,39	20,26
29	1900	20,2	23,09
30	2000	24,06	26,94
31	2100	27,78	32,56
32	2157	33,42	39,35
33	1100	33,42	39,35
34	980	33,96	39,97
35	870	33,98	39,98



### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji : **SN-2**  
 Tanggal pengujian : 012/08/2016  
 Tempat Pengujian : Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB  
 Komposisi benda uji : Beton  
 Ukuran Benda Uji : 160 x 80 x 12 cm  
 Umur Benda Uji : 28 hari

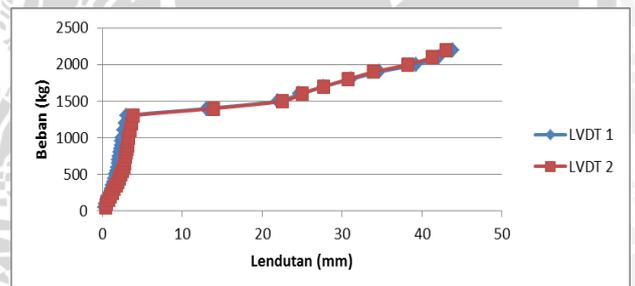
NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)	
		LVDT1	LVDT2
1	50	0,12	0,4
2	100	0,18	0,6
3	150	0,2	0,82
4	200	0,24	1,04
5	250	0,3	1,24
6	300	0,3	1,3
7	350	0,36	1,6
8	400	0,44	1,74
9	450	0,52	1,92
10	500	0,56	2,16
11	550	0,58	2,38
12	600	0,64	2,58
13	650	0,72	2,82
14	700	0,74	3
15	750	0,8	3,2
16	800	0,9	3,44
17	850	0,98	3,66
18	900	1,08	3,88
19	950	1,28	4,12
20	1000	1,4	4,32
21	1100	1,8	4,84
22	1200	11,51	15,2
23	1300	17	22,47
24	1400	26,89	34,48
25	1500	35,28	46,23
26	1150	35,39	46,25
27	920	35,47	46,28



### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji : **SSB-1**  
 Tanggal pengujian : 15/08/2016  
 Tempat Pengujian : Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB  
 Komposisi benda uji : Beton  
 Ukuran Benda Uji : 160 x 80 x 12 cm  
 Umur Benda Uji : 28 hari

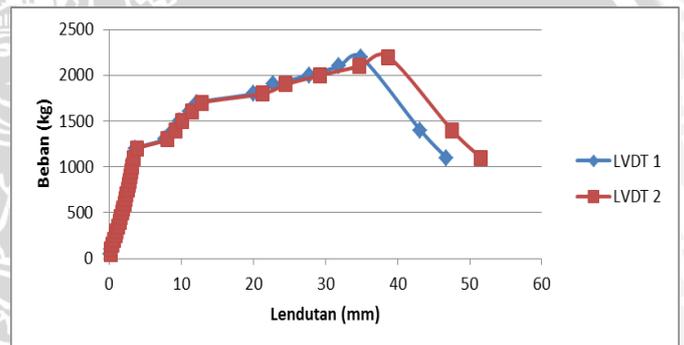
NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)	
		LVDT1	LVDT2
1	50	0,21	0,4
2	100	0,28	0,51
3	150	0,46	0,74
4	200	0,64	0,99
5	250	0,84	1,26
6	300	1,06	1,5
7	350	1,2	1,73
8	400	1,33	1,93
9	450	1,49	2,17
10	500	1,59	2,3
11	550	1,71	2,49
12	600	1,82	2,66
13	650	1,9	2,77
14	700	1,97	2,84
15	750	2,05	2,93
16	800	2,12	3
17	850	2,2	3,08
18	900	2,27	3,14
19	950	2,36	3,22
20	1000	2,42	3,3
21	1100	2,58	3,45
22	1200	2,75	3,61
23	1300	2,94	3,8
24	1400	13,02	13,89
25	1500	21,97	22,46
26	1600	24,62	24,97
27	1700	27,66	27,68
28	1800	31,09	30,71
29	1900	34,67	33,93
30	2000	39,23	38,2
31	2100	42,15	41,22
32	2200	43,85	43,01
33	2250		

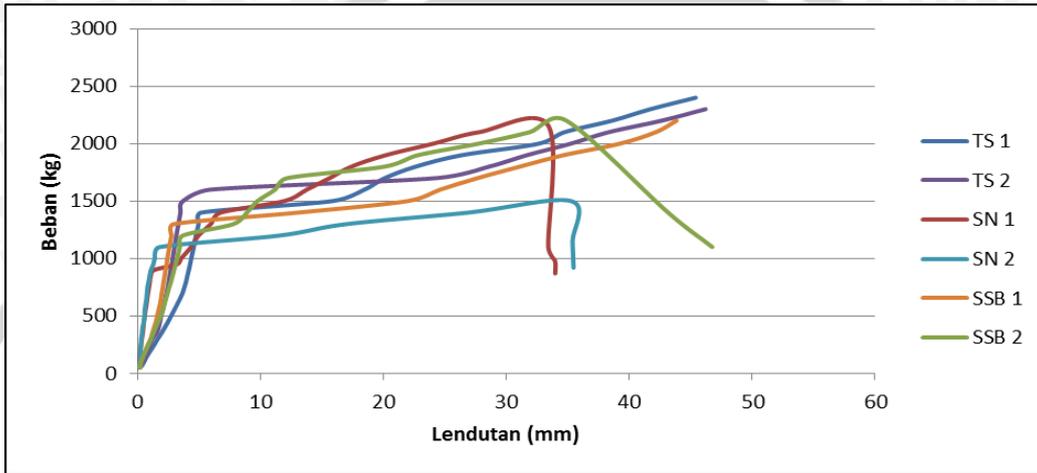


### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

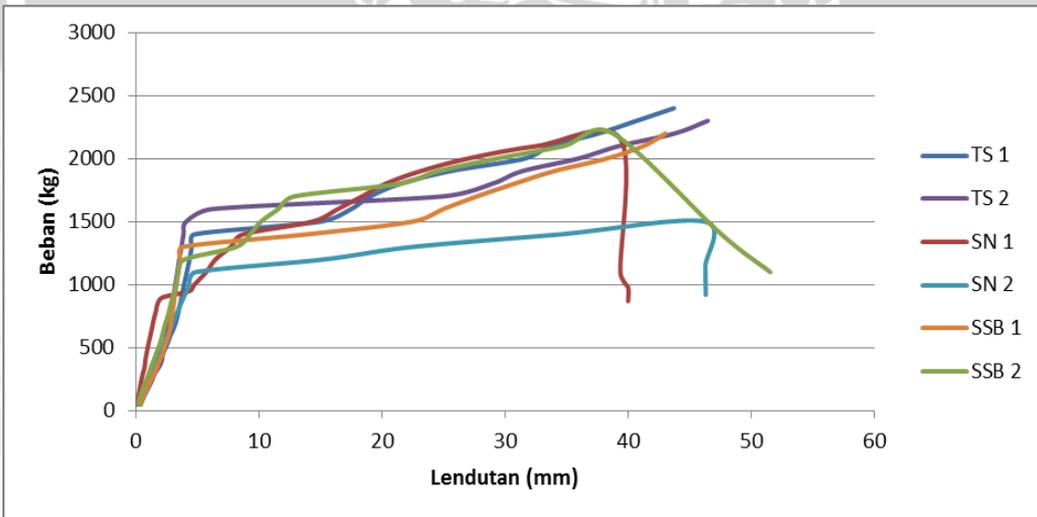
Nama Benda Uji : **SSB-2**  
 Tanggal pengujian : 16/08/2016  
 Tempat Pengujian : Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB  
 Komposisi benda uji : Beton  
 Ukuran Benda Uji : 160 x 80 x 12 cm  
 Umur Benda Uji : 28 hari

NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)	
		LVDT1	LVDT2
1	50	0,18	0,21
2	100	0,26	0,29
3	150	0,45	0,48
4	200	0,67	0,66
5	250	0,88	0,88
6	300	1,09	1,07
7	350	1,28	1,24
8	400	1,47	1,45
9	450	1,67	1,63
10	500	1,87	1,83
11	550	2,04	2
12	600	2,17	2,14
13	650	2,31	2,27
14	700	2,44	2,42
15	750	2,57	2,6
16	800	2,72	2,72
17	850	2,84	2,84
18	900	2,97	2,97
19	950	3,1	3,15
20	1000	3,22	3,26
21	1100	3,43	3,45
22	1200	3,68	3,94
23	1300	7,78	8,15
24	1400	8,89	9,27
25	1500	9,75	10,15
26	1600	11,19	11,56
27	1700	12,18	12,83
28	1800	20,09	21,34
29	1900	22,82	24,51
30	2000	27,73	29,27
31	2100	31,9	34,74
32	2200	34,9	38,74
33	1400	43,17	47,55
34	1100	46,76	51,53





Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2

## Lampiran 2 Data Pengujian Tekan Beton

### Pengujian Tekan Beton

Benda Uji		Berat (Kg	Pmax (N)	Kuat Tekan (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
TS 1 (7/08/2016)	1	12,5	479000	27,1058	29,66
	2	12,15	573000	32,4252	
	3	12,25	665000	37,6313	
	4	12,55	380000	21,5036	
TS 2 (8/08/2016)	1	12,25	547000	30,9538	27,94
	2	12,25	427000	24,1632	
	3	12,4	546000	30,8973	
	4	12,3	455000	25,7477	
SN 1 (10/08/2016)	1	12,4	583000	32,991	31,24
	2	12,25	543000	30,7275	
	3	12,45	445000	25,1818	
	4	12,7	637000	36,0468	
SN 2 (11/08/2016)	1	12,25	381000	21,5601	24,42
	2	12,05	496000	28,0678	
	3	12,2	464000	26,257	
	4	12,15	385000	21,7865	
SSB 1 (15/08/2016)	1	12	428000	24,2198	24,02
	2	12,5	488000	27,6152	
	3	12,05	312000	17,6555	
	4	12,25	470000	26,5966	
SSB 2 (16/08/2016)	1	12,2	662000	37,4615	29,04
	2	12,2	276000	15,6184	
	3	12,5	515000	29,143	
	4	12,25	600000	33,953	

### Lampiran 3 Data Perencanaan *Mix Design*

tipe plat	kebutuhan 1 batching (kg)	jumlah pengecoran	rasio ( 1 : 0,6 : 1,5 : 2,5)			
			semen (kg)	air (kg)	agregat halus (kg)	agregat kasar (kg)
TS 1	100	4	71,4286	42,8571	107,1429	178,5714
TS 2	100	4	71,4286	42,8571	107,1429	178,5714
SN 1	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
SN 2	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
SSB 1	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
SSB 2	100	3	53,5714	32,1429	80,3571	133,9286
Total			357,1429	214,2857	535,7143	892,8571



Lampiran 4 Dokumentasi Slump & Uji Tekan



### Uji Slump



**Uji Tekan**

**Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian Benda Uji**

**TS-1**







TS-2



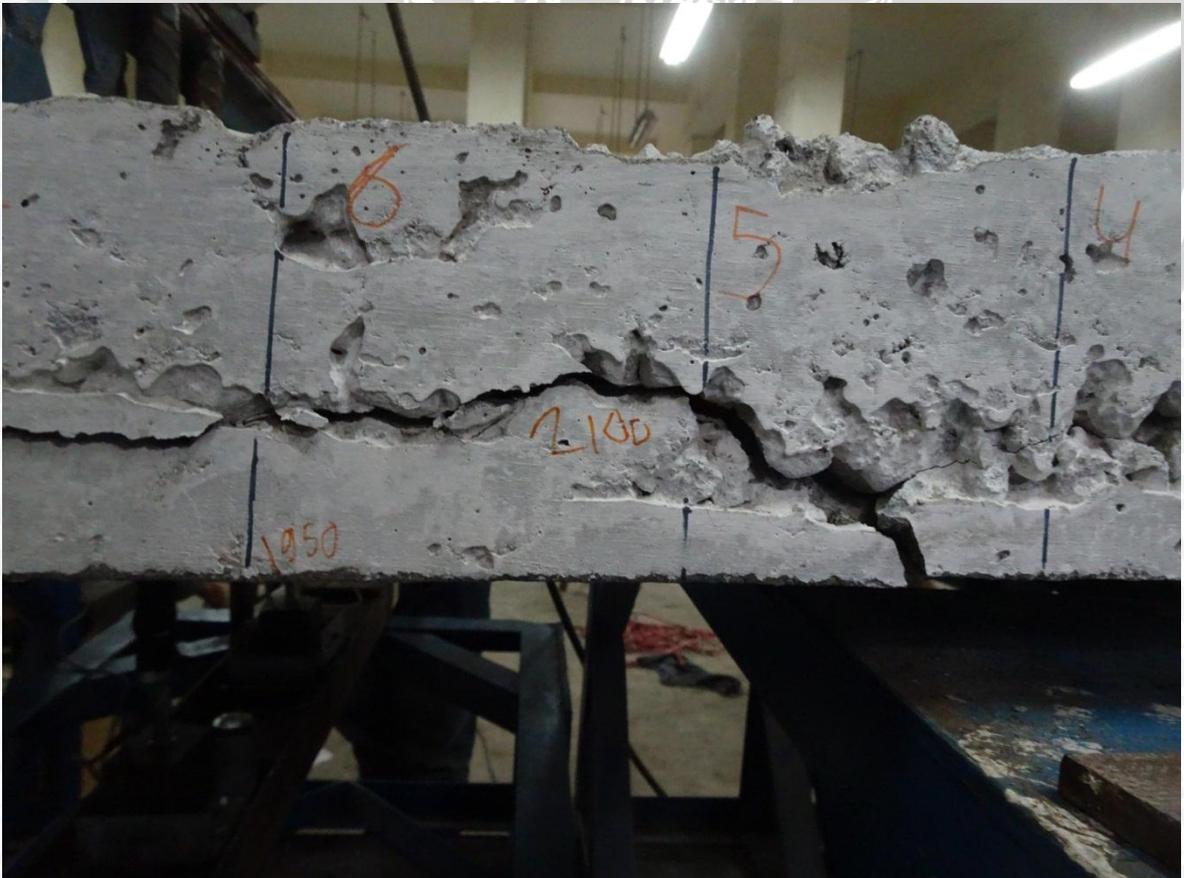


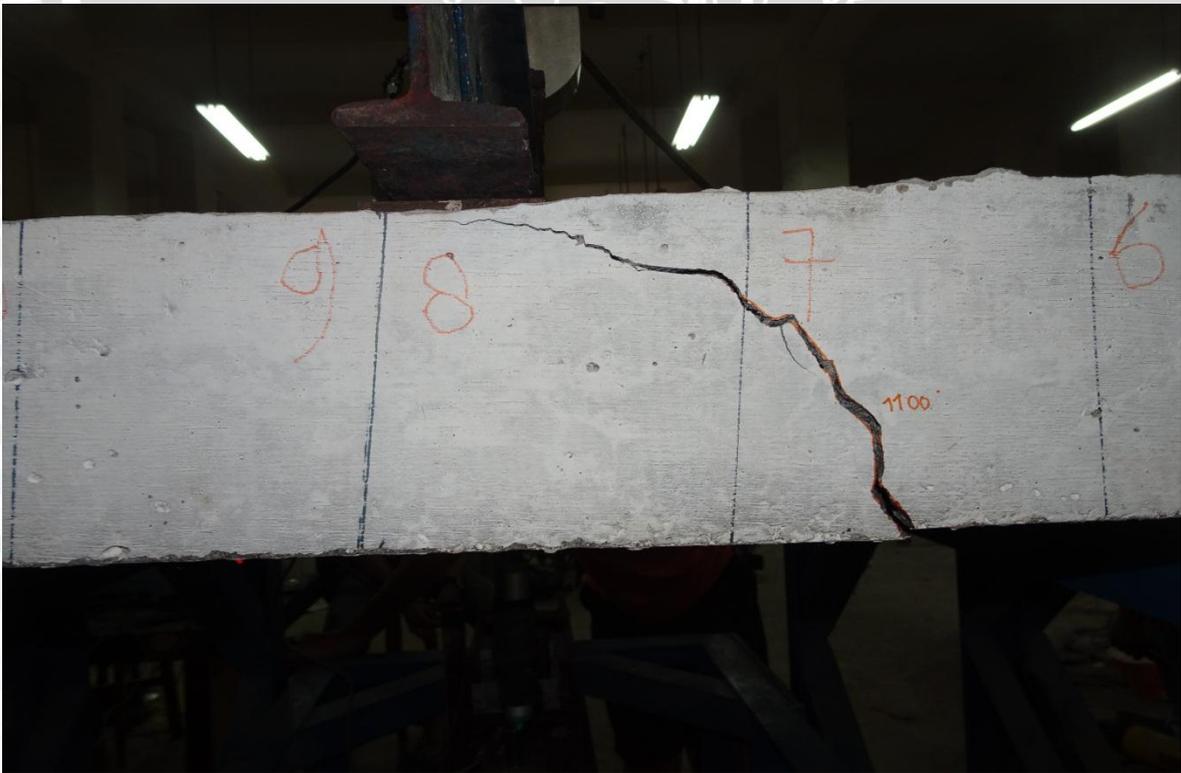
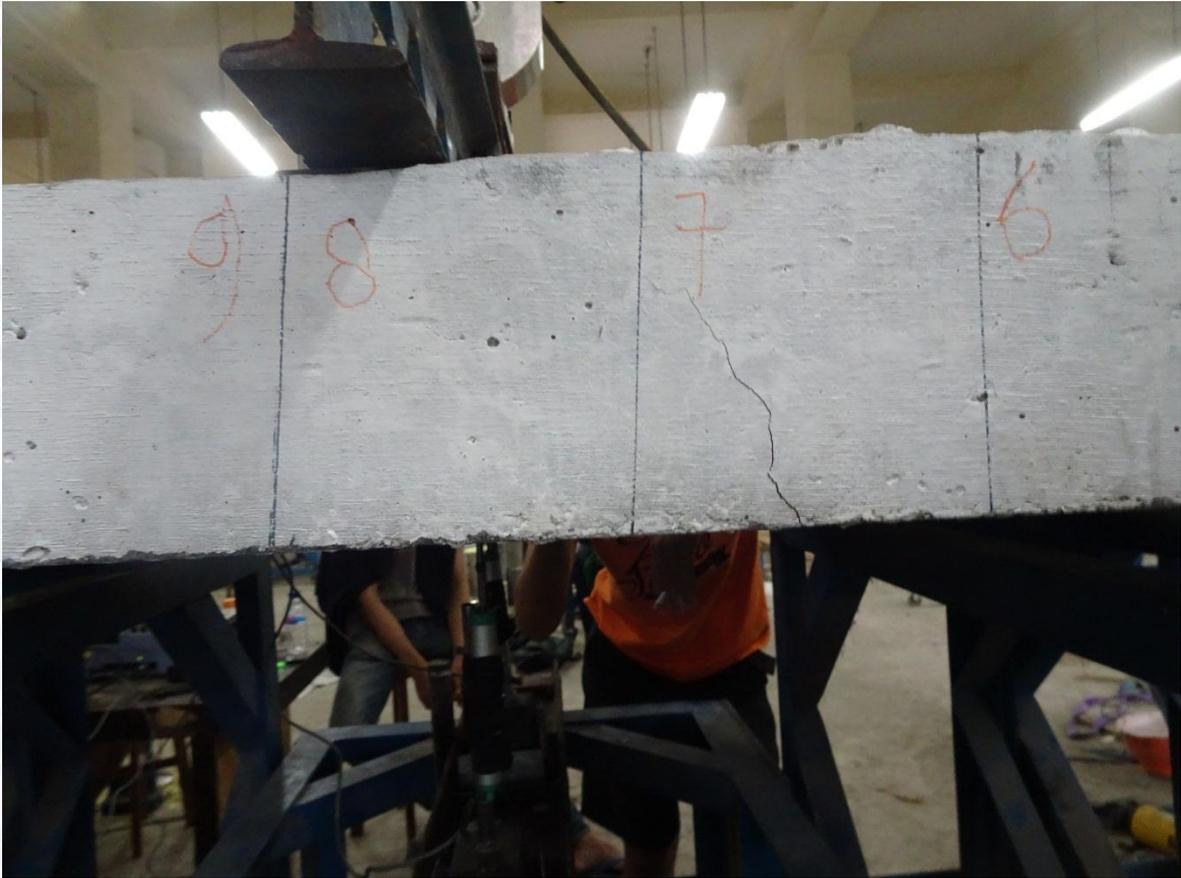


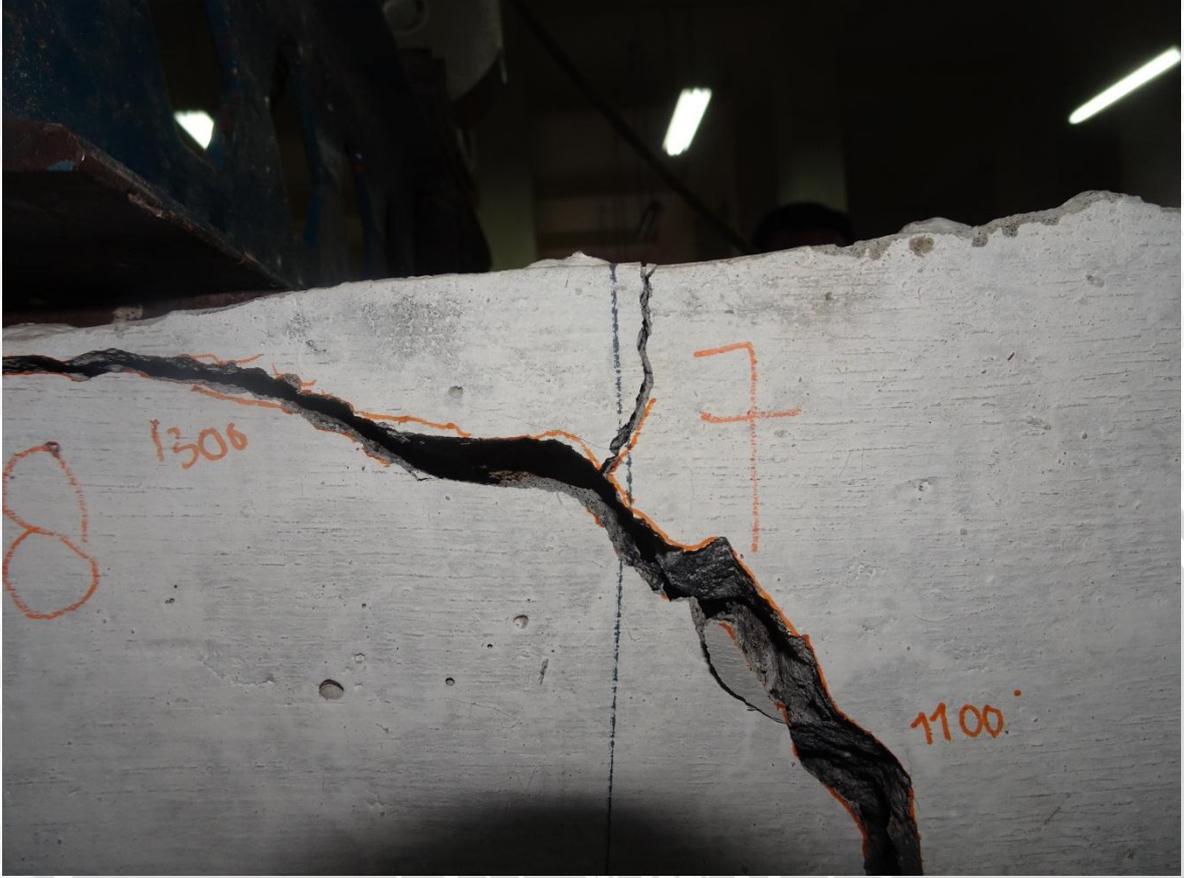
SN-1





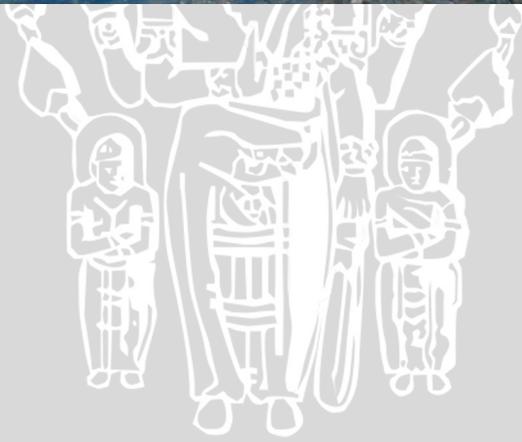








SSB-1







SSB-2



