

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan karunia- Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perbandingan Kuat lentur Satu Arah Pelat Beton Tulangan Bambu dengan Pelat Beton Tulangan Bambu isi Styrofoam”. Shalawat dan salam saya tujukan kepada junjungan umat Islam, Nabi Besar Muhammad SAW yang telah memberikan jalan pencerahan bagi umat manusia.

Puji syukur kepada Allah SWT, atas rahmat, hidayah serta pertolongan Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dengan judul : **“Pengaruh Lapis Styrofoam Sebagai Rongga Pengisi Terhadap Kuat Lentur Dan Berat Volume Pada Plat Beton Satu Arah Bertulangan Bambu”** sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Shalawat dan salam saya tujukan kepada junjungan umat Islam, Nabi Besar Muhammad SAW yang telah memberikan jalan pencerahan bagi umat manusia.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan karena adanya 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. Kedua orang tua yang tercinta, kakak-kakak, yang telah memberikan dukungan moril, doa, serta materil yang tidak ternilai dari awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini
2. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
3. Bapak Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya
4. Bapak Ari Wibowo, ST, MT, Ph.D dan Ibu Christin Remayanti N, ST, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini

5. Pak Sugeng, Pak Hadi, dan Mas Dino selaku pihak dari Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan yang telah membantu selama kegiatan penelitian di laboratorium
6. Rekan Tim Penelitian Pelat Bertulangan Bambu dengan lapis *styrofoam* Fauzan yang telah bekerja dan berjuang bersama dalam penelitian ini
7. Pak Nan, Ario Weleh beserta *pick-upnya* yang telah membantu dalam pengadaan material
8. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan selama masa perkuliahan yang mana menunjang pemahaman dalam penyusunan tugas akhir ini
9. Keluarga Sipil UB 2012 yang telah mendukung, menyemangati dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini
10. Chandra, Rifki Eka, dan Maulana Derry atas bantuan pemahaman dan sebagai referensi untuk memahami hal yang dibutuhkan dalam penelitian
11. Keluarga besar SecondHome, Calon Raja Minyak, dan juga kontrakan Tidar yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam berlangsungnya penelitian ini.
12. Keluarga besar *37 Alley* dan *Jetski* karena telah membuat iri hati penulis sehingga penulis ingin cepat lulus
13. Achmad Danial yang memberikan tempat berteduh di kegelapan malam
14. Bu Inggris yang telah menyediakan asupan gizi di saat begadang malam menyusun skripsi
15. Beberapa mahasiswa Sipil UB 2013 yang membantu dalam pelaksanaan di lapangan, dan juga semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

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

Malang, 16 Januari 2017

Penyusun



## 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>SUMMARY .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pelat .....	5
2.2 Beton.....	7
2.2.1 Agregat .....	8
2.2.2 Semen .....	8
2.2.1 Air.....	9
2.3 Beton Ringan .....	9
2.4 Komposit .....	9
2.5 Bambu.....	10
2.6 Sifat-sifat Mekanik Bambu.....	11
2.7 Penelitian Mengenai Bambu.....	15
2.8 <i>Styrofoam</i> .....	16
2.9 Pola Retak .....	17
2.10 Berat Volume.....	17
2.11 Kekakuan .....	18
2.12 Perhitungan Defleksi .....	19
2.13 Hipotesis Penelitian .....	19

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....21

3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian .....21

3.3 Diagram Alir Penelitian .....22

3.4 Prosedur Penelitian.....23

3.5 Variabel Penelitian .....24

3.6 Benda Uji dan *Setting*.....24

3.7 Metode Analisis Data .....27

3.8 Rancangan Penelitian .....28

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisa Material Penyusun Pelat.....31

    4.1.1 Beton .....31

    4.1.2 *Styrofoam* .....32

    4.1.3 Bambu .....32

    4.1.4 Nilai Lendutan Pelat *Styrofoam* dan Tanpa *Styrofoam* .....33

    4.1.5 Hasil Pengujian Pelat Beton Terhadap Beban Vertikal .....34

4.2 Analisa Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis.....38

    4.2.1 Pemodelan Struktur .....38

    4.2.2 Kapasitas Lentur.....38

4.3 Berat Volume Plat Beton.....41

    4.3.1 Hasil Pengukuran Pelat Beton .....41

    4.3.2 Analisa Berat Volume Plat Beton .....42

4.4 Pengujian Plat Beton Terhadap Beban Vertikal.....42

    4.4.1 Perbandingan Kuat Lentur Pelat *Styrofoam* dan Tanpa *Styrofoam*.....43

    4.4.2 Hubungan Kuat Lentur dan Lendutan Pelat *Styrofoam* dan Tanpa *Styrofoam* Pada Nilai Kuat Tekan yang Sama.....44

    4.4.3 Perbandingan Kuat Lentur Teoritis dan Eksperimental.....45

    4.4.4 Pola Retak.....46

**BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....49

5.2 Saran.....49

**DAFTAR PUSTAKA** .....51

**LAMPIRAN** .....53



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Hasil Penelitian Terdahulu .....	12
<b>Tabel 2.2</b> Tegangan Tarik Bambu Kering Oven Tanpa Nodia Bagian Luar dan Dalam....	14
<b>Tabel 2.3</b> Hasil Uji Tarik Bambu .....	15
<b>Tabel 3.1</b> Rencana Form Data Benda Uji .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Uji Tekan Silinder .....	31
<b>Tabel 4.2</b> Hasil <i>Hammer Test</i> Plat Beton .....	32
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Uji Tarik Bambu.....	33
<b>Tabel 4.4</b> Rata-Rata nilai Lendutan Setelah Dikonversi Pada Kondisi Runtuh .....	34
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Pengukuran Plat Beton .....	41
<b>Tabel 4.6</b> Analisa Berat Volume Plat Beton Tanpa Lapis <i>Styrofoam</i> .....	42
<b>Tabel 4.7</b> Analisa Berat Volume Plat Beton Dengan Lapis <i>Styrofoam</i> .....	42
<b>Tabel 4.8</b> Rata-Rata Beban dan Lendutan Pada Kondisi Runtuh .....	43
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Rata-Rata Beban Maksimum Aktual dan Teoritis.....	46





## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> 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
<b>Gambar 2.2</b> Diagram tegangan-regangan bambu dan baja (Morisco, 1999).....	15
<b>Gambar 2.3</b> Jenis-Jenis Pola Retak.....	17
<b>Gambar 2.4</b> Hubungan Beban dan Lendutan Pada Balok .....	18
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	22-23
<b>Gambar 3.2</b> Tampak Atas Benda Uji .....	25
<b>Gambar 3.3</b> Detail Potongan Melintang Benda Uji.....	25
<b>Gambar 3.4</b> <i>Setting Up</i> Pengujian.....	26
<b>Gambar 3.5</b> Posisi LVDT pada Pengujian Plat (Potongan Melintang) .....	27
<b>Gambar 3.6</b> Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Lendutan ( $\Delta$ ).....	28
<b>Gambar 4.1</b> Diagram Lendutan Maksimum Plat Dengan dan Tanpa <i>Styrofoam</i> .....	34
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Hubungan Lendutan dan Beban Di Titik-1 Plat Beton Tulangan Bambu Tanpa <i>Styrofoam</i> .....	35
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Hubungan Lendutan dan Beban Di Titik-2 Plat Beton Tulangan Bambu Tanpa <i>Styrofoam</i> .....	35
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Hubungan Lendutan dan Beban Di Titik-1 Plat Beton Tulangan Bambu Isi <i>Styrofoam</i> .....	36
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Hubungan Lendutan dan Beban Di Titik-2 Plat Beton Tulangan Bambu Isi <i>Styrofoam</i> .....	37
<b>Gambar 4.6</b> Pemodelan Pembebanan Struktur .....	38
<b>Gambar 4.7</b> Detail Penampang Melintang.....	38
<b>Gambar 4.8</b> Diagram Tegangan Plat.....	40
<b>Gambar 4.9</b> Diagram Beban Maksimum Plat Dengan dan Tanpa Lapis <i>Styrofoam</i> .....	43
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Hubungan Lendutan dan Beban di Titik-1 Plat Beton Tulangan Bambu Isi <i>Styrofoam</i> dan Tanpa <i>Styrofoam</i> .....	44
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Hubungan Lendutan dan Beban di Titik-2 Plat Beton Tulangan Bambu Isi <i>Styrofoam</i> dan Tanpa <i>Styrofoam</i> .....	44

**Gambar 4.12** Diagram Beban Maksimum Rata-Rata Teoritis dan Eksperimen Pada Pengujian Lentur Satu Arah .....45

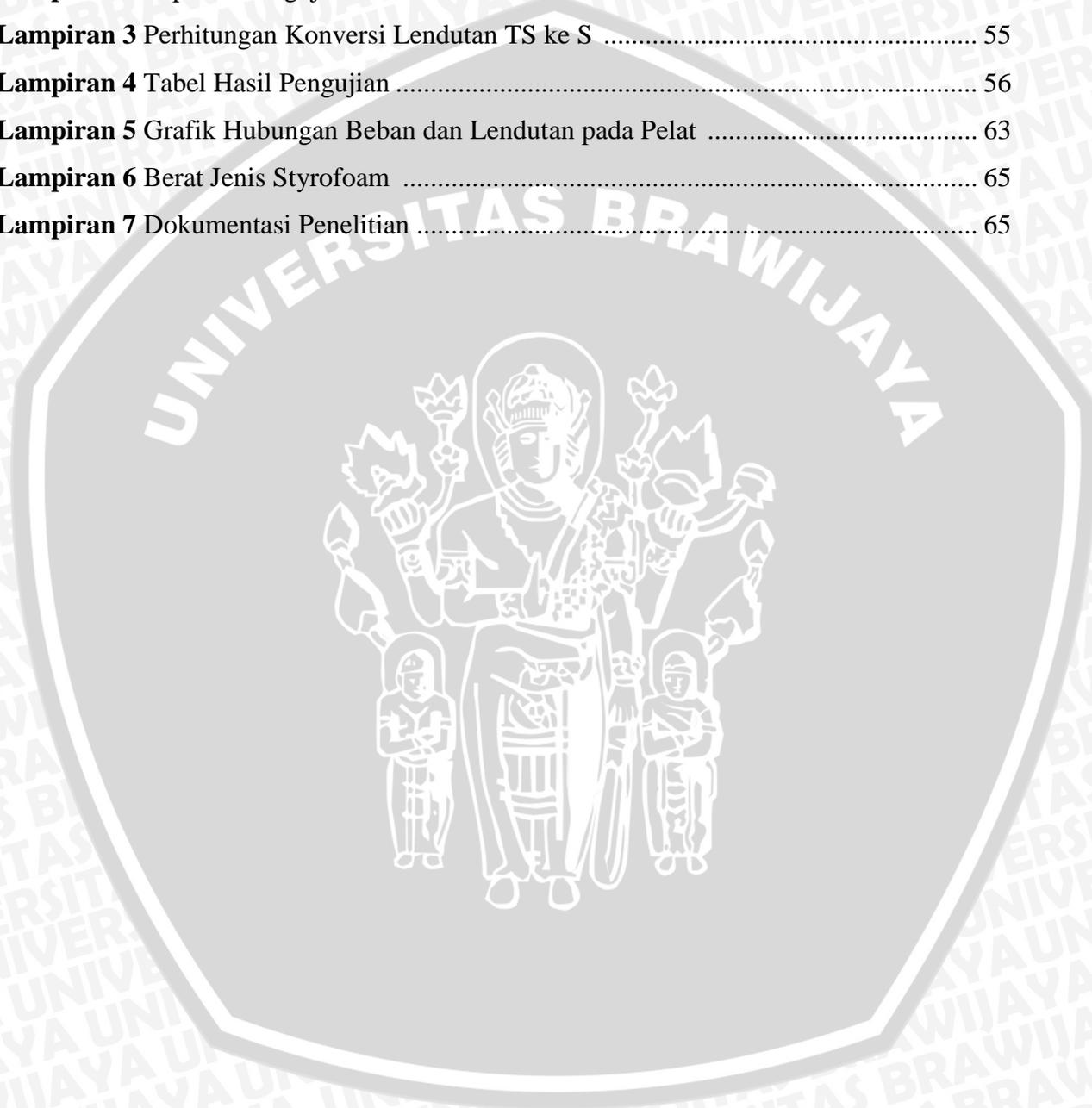
**Gambar 4.13** Garis Leleh Pada Pengujian Lentur plat TS-2 Tanpa Lapis Styrofoam Satu arah .....46

**Gambar 4.14** Garis Leleh Pada Pengujian Lentur plat SBB-1 Lapis Styrofoam Satu arah .....47



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Perhitungan Kuat Tekan.....	53
<b>Lampiran 2</b> Laporan Pengujian <i>Hammer Test</i> .....	53
<b>Lampiran 3</b> Perhitungan Konversi Lendutan TS ke S .....	55
<b>Lampiran 4</b> Tabel Hasil Pengujian .....	56
<b>Lampiran 5</b> Grafik Hubungan Beban dan Lendutan pada Pelat .....	63
<b>Lampiran 6</b> Berat Jenis Styrofoam .....	65
<b>Lampiran 7</b> Dokumentasi Penelitian .....	65





## RINGKASAN

**M Rifki Darrisman**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2016, *Pengaruh Lapis Styrofoam Sebagai Rongga Pengisi Terhadap Kuat Lentur dan Berat Volume Pada Pelat Beton Satu Arah Bertulangan Bambu*, Dosen Pembimbing: Ari Wibowo, ST, MT, Ph.D dan Christin Remayanti N, ST, MT.

---

Berkembangnya suatu Negara menekan kebutuhan akan pembangunan yang sangat tinggi. Umumnya konstruksi pembangunan sering menggunakan sistem beton bertulang untuk pekerjaan strukturnya. Beton bertulang membutuhkan baja tulangan untuk menahan gaya tarik. Kebutuhan akan baja yang terus meningkat dalam dunia konstruksi ini membuat para peneliti melakukan inovasi terhadap material penahan gaya tarik karena sebagaimana kita tahu bahwa sumber daya alam baja terbatas adanya. Sehingga bambu digunakan sebagai alternative pengganti baja tulangan. Beton normal memiliki berat volume yang besar. Biaya pembangunanpun menekan peneliti agar dapat membuat sesuatu yang lebih efisien dan ekonomis. Sehingga ditemukanlah konsep beton ringan, yaitu inovasi dalam pengurangan berat volume beton namun tetap dapat menahan beban yang cukup besar sebagai komponen struktur. Penggunaan *styrofoam* sebagai bahan pengisi rongga udara dalam beton dapat mengurangi berat beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan besar beban vertikal maksimum yang dapat ditahan dan selisih berat volume dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* maupun tidak.

Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah plat beton bertulangan bambu dengan ukuran 160 cm x 80 cm x 12 cm dengan lapisan *styrofoam* sebanyak 4 buah dengan jenis *shear connector* yang berbeda lalu dibandingkan dengan benda uji pembanding plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* sebanyak 2 buah. Material tulangan yang digunakan adalah bambu jenis petung. Dimensi tulangan memanjang adalah 1x2 cm dengan panjang 150 cm dan 1x2 cm dengan panjang 70 cm untuk tulangan bagi. Styrofoam yang digunakan berdimensi 150x70x4 cm yang diletakkan di tengah ketebalan. Pembebanan beban vertikal statik pada benda uji ini akan dilakukan saat beton telah berumur 28 hari. Tumpuan sendi-roll diletakkan pada kedua ujung benda uji. Benda uji diberikan beban garis pada tengah bentang hingga mencapai keruntuhan, kemudian dilakukan pengambilan data antara lain beban maksimum, berat volume, dan lendutan plat.

Hasil yang dapat diketahui dari penelitian ini adalah bahwa pelat tulangan bambu yang diberi rongga pengisi berupa *styrofoam* mengalami penurunan tahanan maksimal pelat sebesar 22,5 % dan berat volume berkurang sebesar 27,8 % dari berat volume pada plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*. Rata-rata hasil kuat lentur eksperimental pun berada di bawah kuat lentur teoritis yang direncanakan.

Kata kunci : beton ringan, plat beton, tulangan bambu, *styrofoam*, kuat lentur, berat volume



## SUMMARY

**M Rifki Darrisman**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in December 2016, Weight and Flexural Capacity Comparison between One Way Bamboo Reinforced Concrete Slab and One Way Bamboo Reinforced Concrete Slab Filled by Styrofoam, Supervisor: Ari Wibowo, ST, MT, Ph.D and Christin Remayanti N, ST, MT.

---

The growth of a country forced a high necessary of construction. Generally, construction development use reinforced concrete system for the structure part. This system needs a steel bar for resisting tension force. Hence, the necessary of steel in construction world is rising. As we know, steel cannot be renewed. This situation makes scientist innovate the composition of reinforced concrete system. Bamboo used for replacing steel bar as tension force resister. Normal concrete is heavy. Scientist know that lighter weight of concrete will decrease the cost of project and will be more efficient. Hence, lightweight concrete system is invented for decreasing the weight. The concept of this system is using a void or lighter materials in the concrete that hopefully will decrease the volume weight of concrete but still can resist the load against concrete as strong as normal concrete. The purpose of this research is know the comparison of volume weight and flexural capacity between the One way reinforced concrete slab with filled Styrofoam and without Styrofoam layer.

There are 4 specimens of One way reinforced concrete slab filled by Styrofoam with different shear connector and 2 specimens without Styrofoam layer that will be compared each kinds. The slab dimension is 160x80x12 cm. Bamboo 'Petung' is used in this experiment as we can easily find this in the market. The dimension of bamboo is 2x1 cm and 150 cm long for the length side and 70 cm long for the width side. Styrofoam's dimension is 150x70x4 cm and put at the middle of the slab height. Vertical load executed when slab's age reaches 28 days. Variant of vertical load is a nodal load that distributed by spreader beam at a node, on the middle of the length. Nodal load given until the slabs reach their ultimate strength, then results of this experiment which recorded are flexural capacity, deflection, and volume weight.

This experiment prove that One way reinforced concrete slab filled by Styrofoam flexural capacity decreases 22,5 % and the volume weight decreases 27,8 % compared with normal slab. The average flexural capacity of all slab in this experiment also less than the design and analysis that has been calculated.

**Keywords :** lightweight concrete, concrete slab, bamboo reinforce, Styrofoam, flexural capacity, volume weight



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dunia konstruksi adalah salah satu pendukung pertumbuhan suatu Negara. Pembangunan pada suatu Negara merupakan indikasi bahwa Negara tersebut sedang berkembang. Dalam pembangunan tersebut, dibutuhkan material dan bahan yang sangat banyak. Kebutuhan manusia akan bangunan saat ini sangat tinggi, baik di sektor industri maupun pribadi atau tempat tinggal. Hal ini menekan ketersediaan sumber daya alam yang ada dan juga membuat para peneliti terus berupaya mencari bahan pengganti bahan konvensional pada dunia konstruksi. Inovasi terus dilakukan agar mendapat keunggulan tertentu dalam sebuah struktur.

Suatu struktur bangunan harus didesain sangat kokoh dan efisien. Kokoh berarti dapat menumpu beban yang akan diterima oleh struktur tersebut. Agar didapat struktur bangunan yang kokoh, maka perencanaannya harus sangat matang dan pelaksanaan yang baik pula. Perencanaan yang matang akan membuat harapan perencana sesuai dengan hasil. Pelaksanaan yang baik pada saat proses konstruksi akan menjamin kekuatan bangunan seperti yang telah direncanakan dan dapat menjaga mutu serta keawetan bangunan. Sedangkan agar dapat mencapai suatu konstruksi yang efisien, tidak hanya diperlukan perencanaan matang dan pelaksanaan yang baik, namun juga perkembangan teknologi. Perkembangan teknologi bahan saat ini sudah sangat maju. Salah satu perkembangan teknologi bahan dalam bidang konstruksi adalah beton ringan.

Beton adalah bahan utama pada konstruksi pada umumnya. Beton memiliki keunggulan yaitu kuat tekan yang tinggi, namun kekurangannya terletak pada kuat tarik yang rendah yaitu sekitar 10% terhadap kuat tekan beton. Kekurangan ini umumnya ditutupi oleh penggunaan baja tulangan karena baja memiliki keunggulan pada kuat tariknya. Namun, penggunaan baja tulangan sudah sangat banyak pada bidang konstruksi pada umumnya. Sangat banyaknya penggunaan baja tulangan untuk menutupi kekurangan bahan beton akan membuat ketersediaan sumber daya alam ini habis, karena baja merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, sangat diperlukan bahan

alternatif pengganti baja sebagai tulangan. Penggunaan bambu merupakan salah satu pilihan yang baik.

Bambu merupakan salah satu tumbuhan yang banyak terdapat di seluruh wilayah di Indonesia, bahkan di dunia. Tanaman bambu di Indonesia umumnya digunakan sebagai dinding, tiang penyangga rumah, pelapis atap, barang kerajinan, tiang bendera, alat musik, roda delman, dan lain-lain. Bambu memiliki serat-serat padat ke arah memanjang dengan bentuk yang teratur. Hal ini membuat bambu memiliki keunggulan yaitu kuat tarik yang tinggi. Selain itu, bambu juga memiliki beberapa kekurangan antara lain: mudah terserang rayap, mudah terbakar, dan mudah terbelah. Namun, pemanfaatan bambu akan lebih banyak apabila digunakan dengan perlakuan yang baik dan benar. Salah satu pemanfaatan di bidang konstruksi adalah sebagai pengganti baja tulangan pada beton bertulang.

Struktur beton bertulang tidak boleh mengalami pergelinciran, yang disebabkan oleh ikatan antara beton dan tulangan yang tidak baik. Sebagai pengganti baja untuk tulangan, bambu memiliki ikatan yang lebih rendah terhadap beton. Salah satu penyebab ikatan yang rendah ini yaitu karena bambu memiliki sifat *higroskopis* yang tinggi. Diperlukan perlakuan khusus pada bambu untuk mengurangi dampak tersebut.

Beton ringan, atau yang biasa disebut Hebel adalah beton yang memiliki berat volume yang lebih kecil daripada beton pada umumnya. Beton ringan juga menjadi satu solusi untuk mengurangi resiko dari bencana gempa bumi. Karena bobotnya yang ringan maka gaya gempa yang diterima bangunan akan jauh berkurang. Inovasi pada teknologi beton ini juga mendapatkan suatu kelebihan yang akan berpengaruh pada nilai ekonomis suatu struktur. Beton ringan ini juga berpengaruh pada pembebanan suatu struktur, karena dapat mengurangi berat sendiri yang kemudian berpengaruh pada perencanaan pondasi.

Konsep pada beton ringan adalah adanya rongga udara atau material yang lebih ringan di dalam beton. Pada penelitian ini, *styrofoam* digunakan sebagai material pengisi yang berfungsi sebagai pembuat rongga udara di dalam beton karena berat *styrofoam* yang sangat ringan. *Styrofoam* ini diletakkan pada bagian tengah penampang. Pemilihan penempatan *styrofoam* ini berdasarkan pada nilai tegangan penampang simetris sama dengan nol pada tengah penampang dan semakin besar menuju bagian tepi penampang. Penempatan *styrofoam* ini diharapkan hanya memiliki sedikit perbedaan kekakuan dibandingkan dengan pelat tanpa *styrofoam* pada kondisi yang sama dan juga dapat mengurangi berat volume pelat beton ringan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk dapat mengetahui lebih lanjut mengenai beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh plat, kekakuan, lendutan, dan juga berat volume plat beton dengan *styrofoam* sebagai material

pengisi. Namun penunPlat beton bertulangan bambu ini diharapkan dapat menjadi alternative yang baik sebagai plat structural yang memiliki keunggulan dalam segi berat volume beton dan efisiensi bahannya.

## 1.2 Identifikasi Masalah

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

## 1.3 Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini?
2. Berapa berat volume 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 1x2 cm dengan panjang 150 cm untuk tulangan arah memanjang berjumlah 8 dan tulangan dengan panjang 70 cm untuk tulangan arah melintang berjumlah 8 dalam satu plat
6. Pengamatan yang dilakukan meliputi berat plat, dimensi plat, beban yang terjadi.
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 SSB adalah plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* dan *shear connector* bambu sebanyak 2 buah, SN adalah plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* dan *shear connector* beton

sebanyak 2 buah.dan TS adalah plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* 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 beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* ini.
2. Untuk mengetahui berat volume dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*.

### 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 berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* sehingga dapat digunakan sebagai penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Plat

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

Pelat beton bertulang digunakan pada banyak konstruksi bangunan, baik sebagai plat atap, plat lantai, maupun plat lantai jembatan. Beban yang bekerja pada plat umumnya adalah beban mati dan/atau beban hidup yang akan mengakibatkan terjadinya momen lentur. Sehingga beban ini dijadikan acuan pada perencanaan plat.

Dinar Gumilang Jati (2013) melakukan penelitian mengenai analisis lentur plat satu arah beton bertulang berongga bola menggunakan metode elemen hingga non linier. Pada penelitian ini didapatkan nilai kuat lentur plat berongga bola pada penelitian mendekati kuat lentur plat dengan pengujian numerik.

Putra, Sedana, dan Santika (2007) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besarnya kapasitas lentur plat beton bertulangan bambu petung dengan menggunakan penulangan tunggal. Hasil 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.

Tumpuan atau jenis perletakan merupakan hal yang juga harus dipertimbangkan dalam perencanaan plat, selain pembebanan pada plat tersebut. Kekakuan hubungan antara pelat dan tumpuan akan menentukan besar momen lentur yang terjadi pada plat. Macam-macam jenis perletakan antara lain:

1. Terletak bebas, yaitu dimana pada saat pelaksanaan plat tidak dicor secara bersamaan dengan balok atau hanya diletakkan begitu saja di atas balok.

2. Terjepit elastis, yaitu dimana plat dicor bersamaan dengan balok secara monolit namun ukuran balok relatif kecil, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya rotasi pada plat.
3. Terjepit penuh, yaitu dimana balok dan plat dicor secara bersamaan secara monolit dan ukuran balok cukup besar sehingga tidak terjadi rotasi pada plat.

Plat mempunyai dua macam sistem perencanaan yang dibedakan menurut rasio panjang sisi bentang terpanjang dengan bentang terpendeknya. Apabila melebihi parameter, maka dianggap sebagai plat satu arah dan juga sebaliknya dianggap plat dua arah. Sistem perencanaan plat satu arah merupakan perencanaan plat dengan tulangan pokok satu arah. Hal ini disebabkan momen lentur yang bekerja hanya pada satu arah. Oleh karena itu tulangan pokok dipasang searah dengan momen lentur yang bekerja pada plat tersebut. Tulangan tambahan juga perlu dipasang dengan arah tegak lurus tulangan pokok agar tulangan pokok tidak mengalami perubahan posisi dan juga mengatasi susut beton. Tulangan ini disebut tulangan bagi.

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

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

Plat akan berdeformasi melengkung ke arah bawa apabila diberikan beban yang mengakibatkan terjadinya lendutan. Lendutan maksimum terjadi pada tengah bentang, sedangkan lendutan yang terkecil terletak pada daerah terdekat dengan tumpuan . Momen lentur dan lendutan bergantung pada beban yang bekerja pada plat itu sendiri. Apabila beban yang diberikan pada plat lebih besar, maka akan lebih besar pula momen lentur dan lendutan yang terjadi pada plat, dan 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 dengan perbandingan tertentu, terkadang ditambahkan bahan campuran lain (additive). Agregat halus dapat berupa pasir, sedangkan agregat kasar dapat berupa kerikil atau batu pecah. Pasta terdiri dari bahan semen dan air. Apabila pasta ditambahkan dengan agregat halus dinamakan mortar. ( *Struktur Beton hal 1*. Ir.Siti Nurlina, MT. )

Penggunaan beton sebagai bahan konstruksi banyak memberikan keuntungan. Beton dicetak saat ketika pengecoran atau masih cair dan menahan beban saat telah mengeras. Pengecorannya pun dapat dilakukan di proyek dan juga pabrik atau biasa disebut dengan beton pracetak. Hal ini membuat suatu kelebihan untuk beton karena dapat dibuat berbagai bentuk pada berbagai tempat. Material komposisi beton yang mudah dicari dan pelaksanaannya pemeliharaan struktur yang mudah pun juga merupakan keuntungan ekonomis dari pemakaian beton sebagai bahan konstruksi.

Pemilihan beton untuk bahan konstruksi pun harus dipertimbangkan. Sangat memungkinkan adanya retak pada beton yang kemudian dapat membuat udara lembap masuk melalui celah retak tersebut yang akan membuat baja tulangan menjadi berkarat. Hal ini disebabkan karena kekuatan tarik beton rendah, hanya 10% dari kuat tekannya. Dalam pelaksanaannya, dibutuhkan banyak bekisting untuk mencetak beton dan juga perancah apabila pengecoran dilakukan di proyek. Kebutuhan ini membuat anggaran pelaksanaan akan bertambah. ( *Struktur Beton hal 1*. Ir.Siti Nurlina, MT. )

Bertambahnya umur beton akan mempengaruhi kuat tekannya. Kekuatan beton akan terus bertambah dengan cepat hingga mencapai umur 28 hari. Setelah itu, peningkatan kekuatan beton akan melambat. Sehingga standar kekuatan beton yang diambil adalah pada saat umur beton 28 hari

Dalam mempertahankan reaksi hidrasi secara kimiawi, dibutuhkan perawatan beton selama proses pengerasan. Kekuatan beton akan berkurang apabila tidak ada perawatan yang menyebabkan beton cepat mengering lalu terjadi retakan pada permukaannya. Berikut ini adalah macam-macam metode perawatan yang baik:

1. Permukaan beton dibasahi dengan air
2. Beton direndam di dalam air
3. Beton dilapisi dengan karung basah, film plastik, atau kertas perawatan yang tahan air

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

### 2.2.1 Agregat

Agregat adalah bahan pengisi yang terdapat di dalam beton. Agregat merupakan bahan campuran yang berpengaruh dalam kekuatan beton. Agregat dibagi menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus merupakan agregat yang butirannya 85%-90% lolos ayakan dengan lubang 4,75 mm, sedangkan agregat kasar merupakan agregat yang tertahan ayakan dengan lubang 4,8 mm. (Tabel 1.1. Gradasi Agregat Halus. *Struktur Beton hal 1*. Ir.Siti Nurlina, MT. )

Agregat dalam beton ini memiliki fungsi antara lain:

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

### 2.2.2 Semen

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

Semen Portland diklasifikasikan dalam lima jenis, yaitu :

- Type I : Semen Portland untuk konstruksi dimana tidak memerlukan sifat khusus atau konstruksi biasa.
- Type II : Semen Portland untuk konstruksi dimana memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang,
- Type III : Semen Portland untuk konstruksi dimana memerlukan pengerasan yang cepat dan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi,
- Type IV : Semen Portland untuk konstruksi dimana memerlukan panas hidrasi rendah, dan

4. Type V : Semen Portland untuk konstruksi dimana memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. sampai 7 hari.

### 2.2.3 Air

Air dibutuhkan pada proses pembuatan beton agar terjadi reaksi secara kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang baik digunakan sebagai campuran adalah air yang tidak mengandung unsur kimia dan mineral-mineral yang dapat mengubah sifat semen bahkan menurunkan mutu beton. Sehingga umumnya air minum digunakan sebagai material.

## 2.3 Beton Ringan

Beton ringan (*lightweight concrete*), atau yang biasa disebut Hebel adalah beton yang memiliki berat volume yang lebih kecil daripada beton pada umumnya. Beton ringan total adalah beton ringan yang agregat halusya bukan berasal dari pasir alami, sedangkan beton ringan berpasir adalah beton ringan yang agregat halusya terbuat dari pasir alami. Berat ringannya ini kemudian dijadikan keunggulan yang dapat diaplikasikan pada proyek bangunan tinggi (*high rise building*) yang secara langsung dapat mengurangi berat sendiri dari struktur bangunan sehingga dapat mempengaruhi perencanaan pondasi dan meminimalisir biaya pembangunan proyek.

Konsep pada beton ringan adalah adanya rongga udara atau material yang lebih ringan di dalam beton atau menggunakan bahan material yang lebih ringan. Terdapat beberapa metode pembuatan beton ringan. Berikut ini adalah beberapa metodenya :

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

## 2.4 Komposit

Struktur komposit (*Composite*) merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik, dimana komponen yang dikombinasikan tersebut bekerja bersama sebagai satu elemen struktural dalam mekanisme menahan beban

dan gaya-gaya luar. Perbandingan antara tegangan normal tarik atau tekan dengan regangan yang timbul akibat tegangan tersebut adalah modulus elastisitas.

Perbedaan modulus elastisitas ini membuat perhitungan menjadi sedikit rumit. Metode Penampang Transformasi digunakan untuk membuat perhitungan yang rumit menjadi mudah. Metode ini menyatukan luasan kedua material menjadi satu bahan yang sama atau homogen untuk menjadi satu perilaku yang sama dalam mekanisme memikul gaya-gaya luar dengan cara penggunaan rasio modular.

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

Dengan menggunakan rasio modular:

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

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

## 2.5 Bambu

Bambu adalah salah satu tanaman jenis rumput-rumputan yang memiliki batang keras berongga dan memiliki ruas di batangnya dan merupakan produk hasil alam yang *renewable* yang dapat diperoleh dengan mudah, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek *global warming* serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat dipersaingkan dengan baja (Agus Setiya Budi, 2010). Pertumbuhan bambu yang cepat disebabkan oleh sistem perkembangbiakan rizhoma yang ditentukan oleh iklim,

kondisi tanah lokal dan jenis spesies nya. Umumnya laju pertumbuhan bambu adalah sekitar 3-10 cm per hari dan ketika dipanen akan dengan cepat tumbuh kembali.

Pemanfaatan bambu di Indonesia sudah dilakukan sejak lama. Tanaman bambu di Indonesia umumnya digunakan sebagai barang kerajinan, tiang bendera, kursi, meja, roda delman, dan lain-lain. Bambu pun kerap digunakan sebagai komponen konstruksi misalnya atap, dinding, tangga dan lain-lain. Morisco (1999) menyatakan bahwa hasil penyelidikan bambu dapat digunakan sebagai tulangan beton pengganti baja karena mempunyai kekuatan tarik tinggi yang mendekati kekuatan baja. Harga yang relatif rendah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, mudah dikerjakan, serta keunggulan spesifik yaitu serat bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi, seperti pada kuat tarik kulit bambu Ori sekitar dua kali tegangan luluh baja menjadi dasar pemilihan bambu sebagai bahan bangunan. (Morisco, 1999)

Terdapat beberapa jenis bambu di dunia. Di Indonesia terapat jenis bambu petung, yang mempunyai nama botani *Dendrocalamus Asper*. Bambu jenis ini dapat tumbuh di dataran rendah hingga pegunungan dengan ketinggian 2000 m di atas permukaan air laut dan mempunyai rumpun agak rapat. Pada daerah yang tidak terlalu kering, pertumbuhan bambu jenis ini cukup baik. Warna kulit batang hijau kekuning-kuningan, batang dapat mencapai panjang 10-14 m, panjang ruas berkisar antara 40-60 cm, diameter 6-15 cm, dan tebal dinding 10-15 mm (Morisco, 1999).

Batang bambu umumnya berbentuk tabung atau silinder dengan diameter 6 cm sampai 15 cm sehingga membuat momen inersia batangnya besar tetapi ringan. Nodia atau ruas memisahkan batang bambu menjadi beberapa susunan. Dengan adanya nodia-nodia tersebut, maka bahaya tekuk lokal akan menjadi berkurang (Ghavami, 2004).

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

## 2.6 Sifat-sifat Mekanik Bambu

Bambu mempunyai sifat higroskopis yang cukup besar, yaitu mempunyai kemampuan menyerap molekul air yang baik sehingga bambu mempunyai kembang susut yang cukup besar. Penyusutan tersebut kemudian akan mempengaruhi lekatan antar bambu

dengan beton, sehingga diperlukan perlakuan khusus. Para peneliti mengusulkan beberapa usaha untuk mengatasi kelemahan tersebut dengan cara menggunakan bambu yang sudah tua usianya sehingga daya serap dan kelembabannya kecil, dan juga melapisi batang bambu dengan bahan kedap air seperti vernis, cat dan cairan aspal, tetapi licin permukaan bambu akibat bahan-bahan ini harus diperhatikan agar daya lekat tidak berkurang.

**Tabel 2.1** Hasil Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	jenis bambu	variasi bambu	dimensi bambu	mutu beton (Mpa)	hasil pengujian
					lekatan (Mpa)
Irianta (2009)	Petung	Dipilin	lebar 15 mm	30	1,1
	Ori	Dipilin			0,6
	Wulung	Dipilin	tebal 5 mm		0,6
Setiya Budi, dkk (2013)	Petung	Takikan	lebar 15 mm	16	0,0078
	Wulung	Takikan	tebal 5 mm		0,0071
Suryadi, dkk (2013)	Gombang	lilitan kawat 2cm	lebar 20-25 mm	20	22,8
		lilitan kawat 4cm			tebal 8-15 mm
		pemberian tonjolan 2,5 cm	47,9		
		pemberian tonjolan 5 cm	31,3		

Dari Tabel 2.1, dapat dilihat perbedaan besarnya kuat lekat yang sangat jauh dari masing-masing penelitian yang pernah dilakukan. Bambu Gombang memiliki kuat lekat yang jauh lebih besar dibandingkan dengan jenis bambu lainnya.

Tegangan lekatan antara tulangan bambu dan beton akan diketahui dengan dilakukannya pengujian tegangan *pull-out* pada penelitian ini. Tegangan *pull-out* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

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

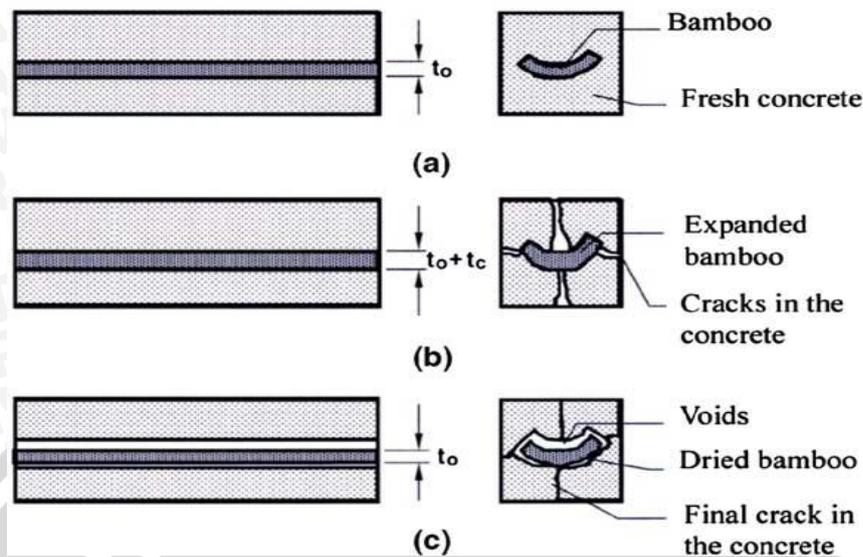
Di mana  $\mu$  = tegangan lekat bambu

P = gaya *pull-out*

A = luas selimut tulangan bambu yang dicor

Perilaku bambu sebagai tulangan akan berbeda pada saat proses pengerasan pada beton, bambu tidak dilapisi dengan lapisan kedap air. Gambar 2.1.a. menunjukkan bahwa tulangan bambu akan mengembang pada saat mortar masih dalam keadaan basah. Hal ini disebabkan tulangan bambu yang tidak dilapisi oleh lapisan kedap air akan menyerap air pada mortar yang masih segar. Setelah mengering, retakan pada mortar akan timbul karena bambu akan mengembang saat menyerap air dari mortar seperti pada Gambar 2.1.b. Pengerutan dan pembusukan bambu ditunjukkan pada Gambar 2.1.c. Hal ini timbul karena

pada waktu yang lama mortar akan mengering dan retakan yang timbul akan semakin membesar akibat adanya kontak dengan udara luar.



**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 mengering setelah masa perawatan beton

Sumber : Khosrow Gavami (2004)

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

Terdapat dua jenis cat berdasarkan zat pelarut yang digunakan, yaitu:

- Cat berpelarut minyak, merupakan cat yang digunakan untuk keperluan pengecatan yang membutuhkan daya rekat yang tinggi. Komposisi bahan pada cat jenis ini hampir sama dengan cat berpelarut air, perbedaannya terletak pada penambahan lateks pada cat berpelarut minyak. Fungsi dari adanya penambahan lateks ini yaitu meningkatkan daya rekat terhadap permukaan yang dilapisi oleh cat. Biasanya cat dengan pelarut minyak ini digunakan untuk melapisi material dengan porositas yang rendah misalnya kayu dan logam.

- Cat berpelarut air, merupakan cat yang digunakan untuk keperluan pengecatan yang tidak membutuhkan daya rekat yang tinggi. Material yang membutuhkan Cat jenis ini umumnya adalah yang memiliki porositas yang tinggi

Cat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cat kayu atau cat dengan pelarut minyak karena tulangan yang dipakai adalah tulangan bambu yang memiliki tingkat porositas rendah. Namun cat kayu ini memiliki kekurangan yaitu licinnya permukaan cat setelah melapisi permukaan bambu. Oleh karena itu perlu ditambahkan lapisan pasir pada permukaan tulangan yang telah dilapisi cat untuk menambah daya rekat tulangan bambu terhadap beton.

Para ahli telah meneliti bahwa bambu memiliki tegangan tarik yang cukup besar terutama pada bagian kulit atau luarnya. Menurut Nindyawati (2014) bambu petung memiliki nilai modulus elastisitas sebesar  $180000 \text{ kg/cm}^2$ . Morisco (1999) juga telah melakukan pengujian kuat tarik pada empat jenis yaitu bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu Petung (*dendracalamus asper schult*), bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*) dan bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*), dimana di dalam pengujian ini bambu yang digunakan adalah bambu dengan nodia dan juga tanpa nodia. Hasil yang didapatkan dari pengujian tanpa nodia ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia bagian dalam dan luar

Jenis Bambu	Tegangan Tatrik (Mpa)	
	Bagian Dalam	Bagian Luar
Ori	164	417
Petung	97	285
Wulung	96	237
Tutul	146	286

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:

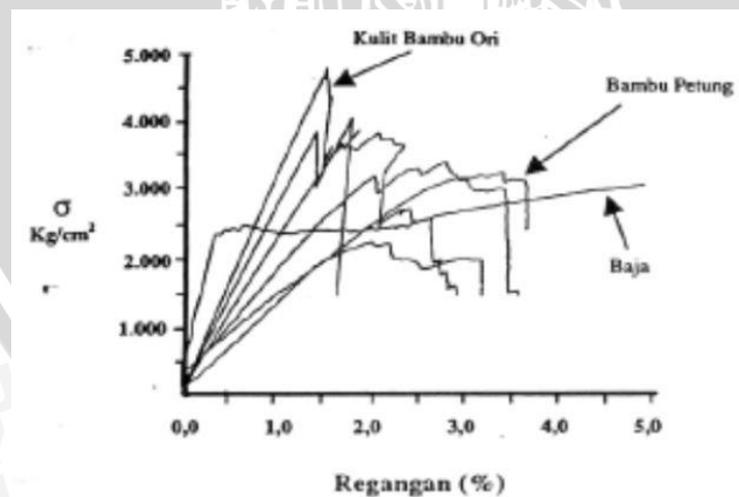
**Tabel 2.3.** Hasil Uji Tarik Bambu

P	Dimensi Bambu	A	P/A
(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

## 2.7 Penelitian Mengenai Bambu

Kekuatan bambu dapat dijadikan pembanding baja tulangan beton, hal ini telah dibuktikan oleh beberapa penelitian, antara lain:

1. Morisco (1999) melakukan penelitian dan menyimpulkan bahwa bambu dapat digunakan sebagai pengganti tulangan baja dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi mendekati kekuatan baja struktur. Seperti tarik bambu ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa, sedang kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja 240 Mpa sebagai wakil dari baja tulangan di pasaran



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

2. Janssen (1980) mulai melakukan penelitian sifat mekanik bambu pada tahun 1974, Menurut Jansen (1987) , kekuatan tarik bambu sejajar serat antara 200 – 300 Mpa beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang.
3. Khosrow Gavami (2004) menyatakan bahwa tulangan bambu dapat menggantikan tulangan baja secara memuaskan dan telah diaplikasikan di dalam beberapa konstruksi bangunan.
4. Patturrahman dan kusuma (2003) melakukan penelitian dengan kesimpulan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana.

## 2.8 Styrofoam

*Styrofoam* atau *expanded polystyrene* umumnya dikenal dengan julukan gabus putih biasa yang digunakan sebagai pembungkus barang elektronik ataupun makanan. *Polistirena foam* dihasilkan dari campuran 90-95% polistirena dan 5-10% gas seperti n-butana atau n-pentana. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu di bawah 100<sup>0</sup>C (Billmeyer, 1984). *Polystyrene* ini memiliki berat jenis sampai 10,50 kg/m<sup>3</sup> (Crawford, 1998). Jika dibentuk granular *styrofoam* atau *expanded polystyrene* maka berat satuannya menjadi sangat kecil yaitu hanya berkisar antara 13-16 kg/m<sup>3</sup>.

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

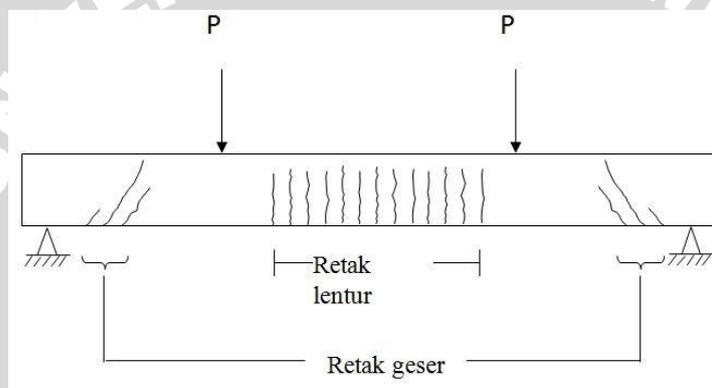
*Polystyrene foam* tidak dapat didaur ulang, namun banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Sehingga pengolahan limbahnya harus dilakukan secara benar agar tidak merusak lingkungan. Pemanfaatan *Polystyrene* bekas untuk bahan aditif dalam pembuatan aspal polimer merupakan salah satu cara meminimalisir limbah tersebut.

*Styrofoam* pun dapat digunakan dalam alternatif beton ringan. Penggunaan *styrofoam* dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara. *Styrofoam* mempunyai kekuatan tarik. Hal ini adalah keuntungan dari penggunaan *Styrofoam* dalam beton ringan dibandingkan dengan rongga udara. Dengan demikian selain akan membuat beton menjadi ringan, dapat juga bekerja sebagai serat yang meningkatkan kekuatan beton. Kerapatan atau berat jenis beton dengan campuran *Styrofoam* dapat diatur dengan mengontrol jumlah campuran *styrofoam* dalam beton

## 2.9 Pola Retak

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

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



**Gambar 2.3** Jenis-jenis pola retak

## 2.10 Berat Volume

Perbandingan antara berat dan volume dinamakan berat volume. Berat volume plat ( $\text{kg/m}^3$ ) adalah rasio perbandingan antara berat plat (kg) dengan volume plat ( $\text{m}^3$ ). Rumus perhitungan berat volume adalah sebagai berikut:

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

Di mana  $\gamma$  = berat volume plat ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $w$  = berat plat (kg)  
 $V$  = volume plat ( $\text{m}^3$ )

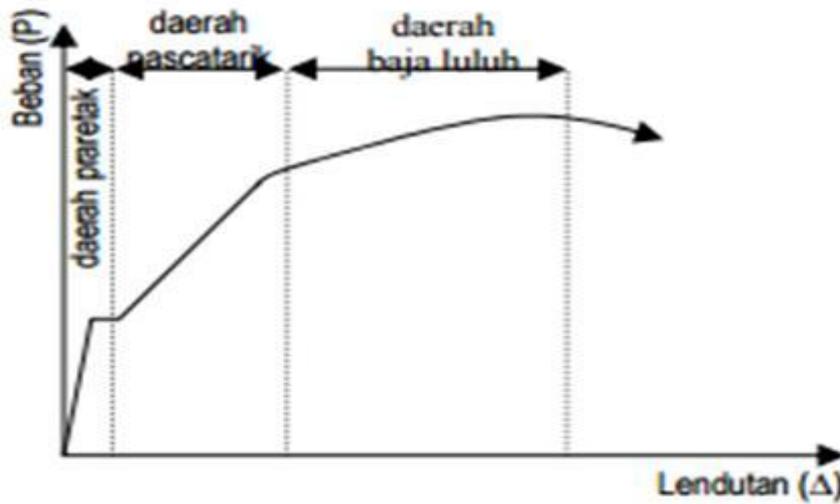
Kemudian volume plat didapat dari rumus:

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

Di mana  $V$  = volume plat ( $\text{m}^3$ )  
 $p$  = panjang plat (m)  
 $l$  = lebar plat (m)  
 $t$  = tinggi plat (m)

## 2.11 Kekakuan

Menurut Nawy (1998), hubungan beban-defleksi balok beton bertulangan pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Hubungan Beban-Lendutan pada Balok

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. Sehingga kekakuan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

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

Di mana  $k$  = kekakuan

$P$  = beban

$\Delta$  = lendutan

## 2.12 Perhitungan Defleksi

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

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

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

Di mana

- W = beban total bentang
- $l_n$  = panjang bentang bersih
- E = modulus beton
- Ic = momen inersia penampang
- K = suatu faktor yang bergantung pada derajat kekakuan tumpuan

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

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

Di mana

- $\Delta$  = defleksi
- P = besar beban terpusat
- l = panjang bentang bersih
- E = modulus elastisitas
- I = momen inersia penampang

## 2.13 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 berat volume lebih kecil dibandingkan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

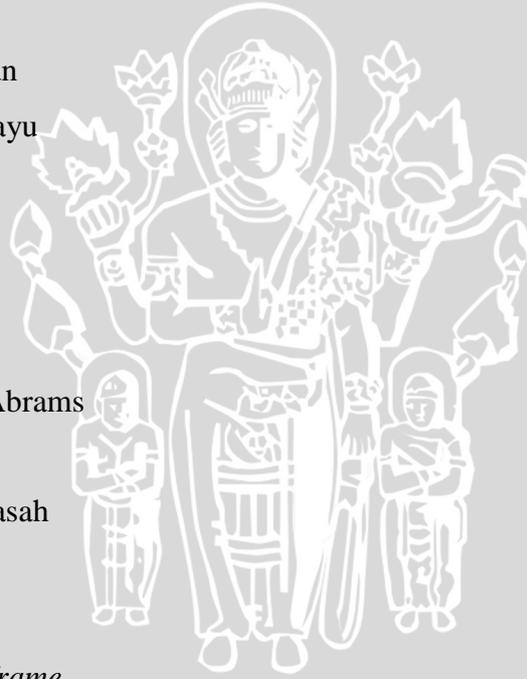
#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

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

#### 3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

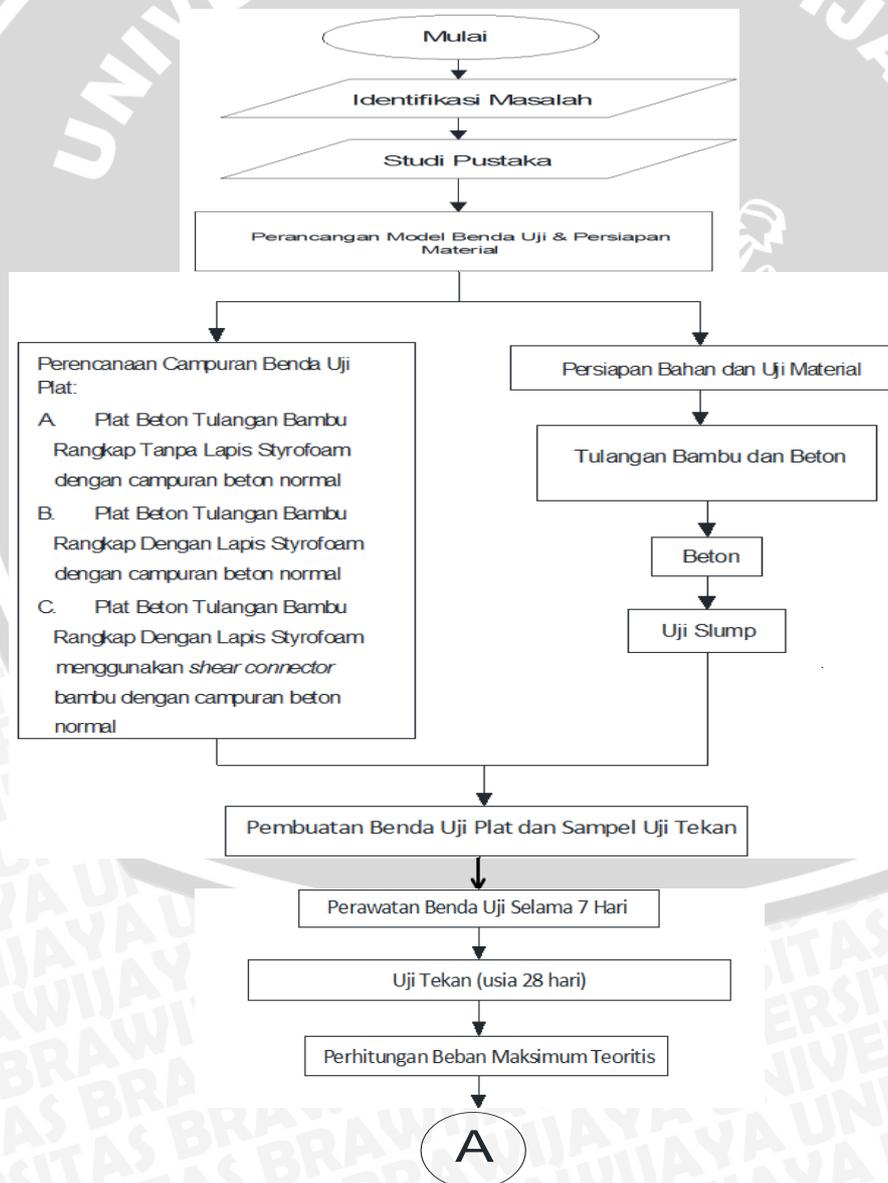
Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

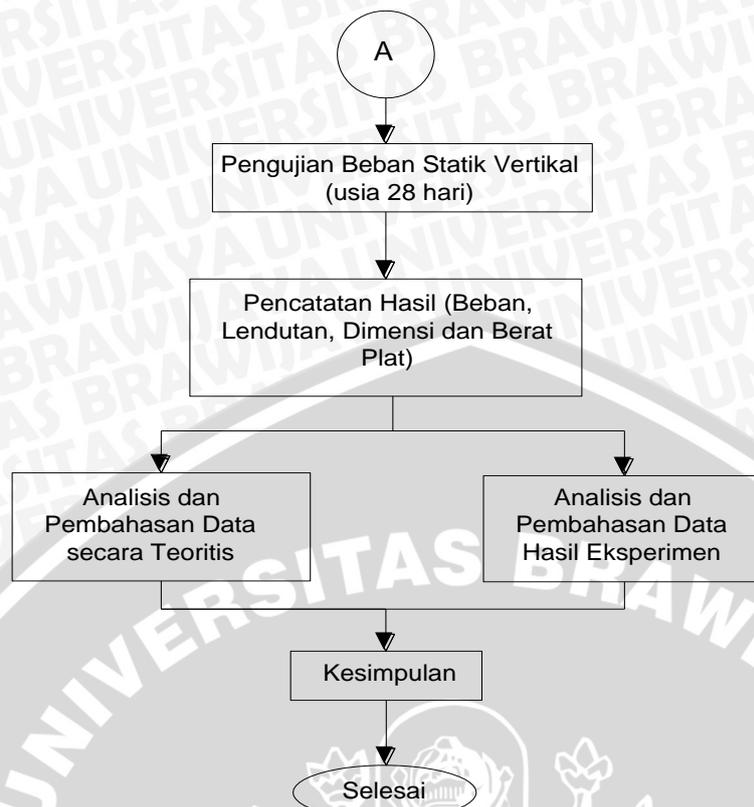
1. Peralatan
  - a. Timbangan
  - b. Gergaji kayu
  - c. Kuas
  - d. Bekisting
  - e. Molen
  - f. *Vibrator*
  - g. Kerucut Abrams
  - h. Meteran
  - i. Karung basah
  - j. Tang
  - k. Cutter
  - l. *Loading frame*
  - m. Tumpuan
  - n. *Load cell & Load transducer*
  - o. LVDT
  - p. *Hydraulic jack*
  - q. Alat tulis
  - r. Cetakan Silinder
  - s. Mesin Uji Tekan Beton



2. Bahan
  - a. Semen Portland (PC) tipe I
  - b. Agregat halus berupa pasir
  - c. Batu koral 1-3 mm
  - d. Air
  - e. Tulangan bambu petung dengan dimensi penampang 6x6 mm
  - f. Kawat bendrat
  - g. Cat kayu
  - h. *Styrofoam*
  - i. *Shear connector*

### 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 1 cm x 2 cm dan dengan *shear connector* beton. Benda uji sebanyak 2 buah
2. Persiapan benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dengan ukuran 80x160x12 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 1 cm x 2 cm dan dengan *shear connector* bambu. Benda uji sebanyak 2 buah
3. Persiapan benda uji plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* dengan ukuran 80x160x10 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 1cm x 2 cm. Benda uji sebanyak 2 buah
4. Pembuatan bekisting
5. Pengecoran benda uji plat
6. Pengambilan sampel silinder beton berukuran 30 cm sejumlah 2 buah pada masing-masing pengecoran pelat
7. Perawatan benda uji selama 7 hari dengan cara disiram air 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

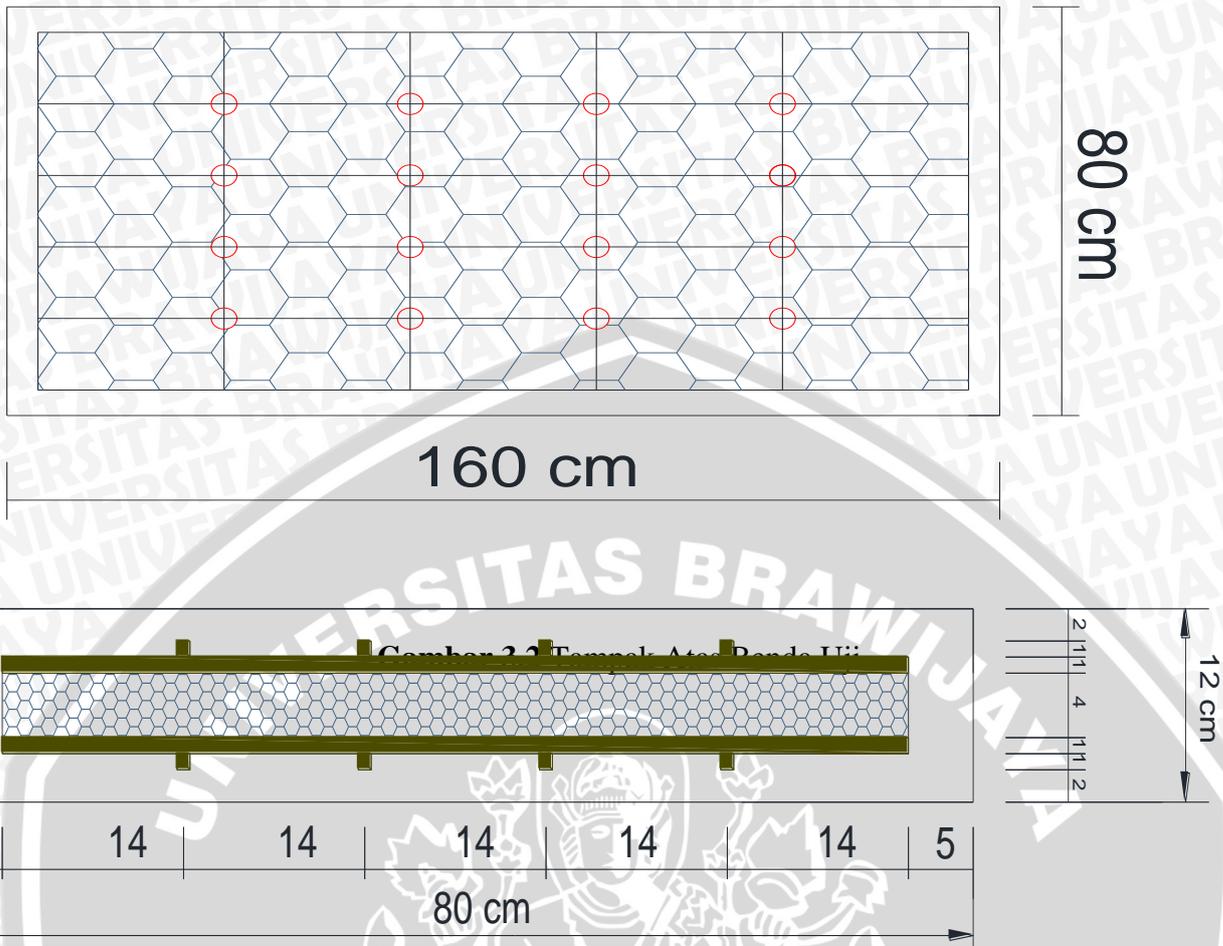
Terdapat hubungan dalam variabel, misalnya untuk variabel A dan variabel B. Jika variabel B merupakan sebab dari variabel A, maka variabel B adalah variabel terikat (*dependent*) dan variabel A adalah variabel bebas (*antecedent*)

Variabel penelitian yang diukur dalam penelitian ini adalah:

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

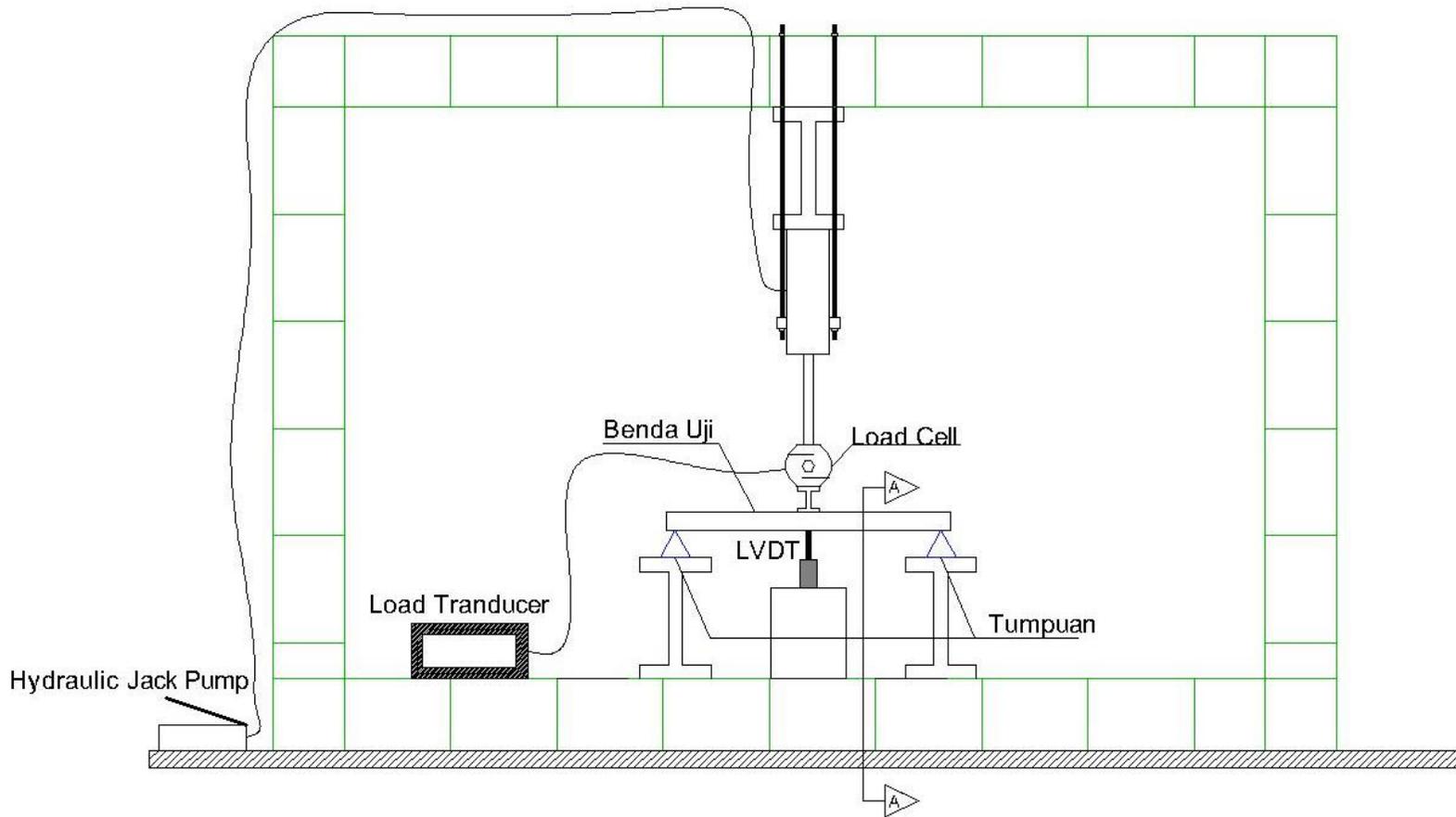
### 3.6 Benda Uji dan Setting

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 1x2 cm dengan panjang 150 cm untuk tulangan arah memanjang dan 70 cm untuk tulangan arah melintang. Terdapat *shear connector* pada setiap pertemuan antara tulangan memanjang dan melintang yang berupa bambu dan juga lubang pada *styrofoam* yang nantinya akan terisi oleh beton. Campuran beton yang digunakan pada benda uji adalah campuran semen, pasir, dan batu koral. Plat dicor menggunakan metode pengecoran konvensional yaitu menggunakan bekisting. Jumlah benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapisan *styrofoam* sebanyak 4 buah yang dibedakan jenis *shear connector* nya dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam* sebanyak 2 buah. Sehingga total benda uji berjumlah 6 buah.

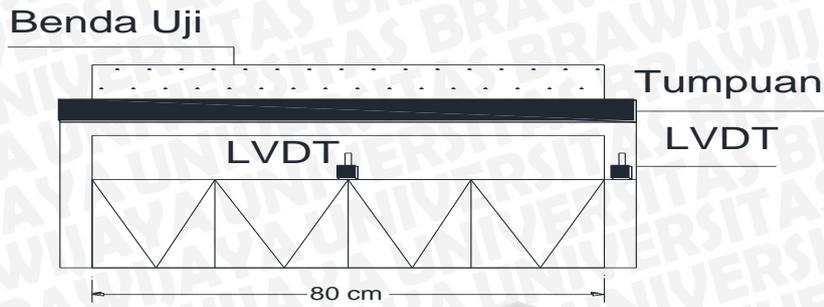


**Gambar 3.3** Detail Potongan Melintang Benda Uji

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



Gambar 3.4 Setting Up Pengujian



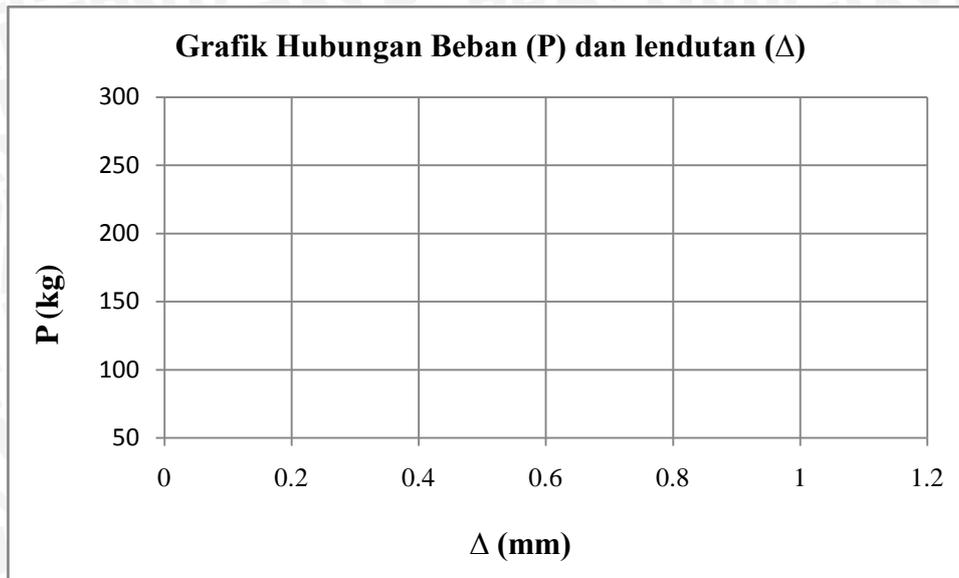
**Gambar 3.5** Posisi LVDT pada Pengujian Plat (Potongan melintang)

### 3.7 Metode Analisis Data

Data hasil percobaan yang telah didapat secara pengujian benda uji dan juga literatur, kemudian akan dianalisis perbandingan dari kekakuan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* dengan plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*. Pengujian plat tersebut akan menghasilkan nilai beban, lendutan, berat, dan dimensi dari plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* maupun plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* ke dalam tabel sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Rencana Form Data Benda Uji

Pengujian Lentur Plat Satu Arah			
Nama Benda Uji	:		
Tanggal pengujian	:		
Tempat Pengujian	:		
Komposisi benda uji	:		
Ukuran Benda Uji	:		
Umur Benda Uji	:		
Berat Benda Uji	:		
Tahap Beban	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 1	Titik 2



**Gambar 3.6** Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Lendutan( $\Delta$ )

### 3.8 Rancangan Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode ekperimental, yaitu dengan cara dilakukannya percobaan untuk mendapatkan suatu data atau hasil. Percobaan dilakukan dengan variabel yang telah ditetapkan. Penelitian ini akan dilakukan di dalam laboratorium. Penggunaan material yang sama untuk pengujian bahan, mendorong kami menggunakan data-data yang diperoleh dari penelitian-penelitian terdahulu.

Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah plat beton bertulangan bambu dengan ukuran 80 cm x 160 cm x 12 cm dengan lapisan *styrofoam* lalu dibandingkan dengan benda uji pembanding plat beton bertulangan bambu tanpa lapisan *styrofoam*. Pembebanan beban vertikal statik pada benda uji ini akan dilakukan setelah beton berumur 28 hari.

Terdapat 2 analisis dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Analisis data eksperimental, dimana data teknis pada benda uji plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* ini digunakan untuk mendapatkan suatu hasil penelitian yang nantinya akan digunakan untuk menyusun kesimpulan terhadap perbandingan kekuatan dan berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* terhadap dan plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.
2. Analisis teori yaitu mengestimasi beban maksimum dan lendutan dari plat beton tulangan bambu dengan lapis *styrofoam* dengan dimensi dan spesifikasi yang sama

dengan plat yang akan diuji dengan menggunakan teori yang ada. Analisis ini akan menghasilkan nilai-nilai teoritis berdasarkan tinjauan pustaka yang akan dibandingkan dengan analisis data eksperimental. Seperti halnya analisis dalam memprediksi beban vertikal maksimum yang dapat diterima oleh plat satu arah.





## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Material Penyusun Plat

Bahan-bahan yang dipakai dalam membuat plat adalah beton, tulangan bambu, dan Styrofoam. Sebelum pengujian lentur pada plat dilakukan, terlebih dahulu dilakukan uji kuat tekan silinder beton, uji tarik bambu, uji berat *Styrofoam*, dan juga *hammer test* setelah pengujian plat.

##### 4.1.1 Beton

Penyusun beton pada plat direncanakan dengan perbandingan campuran material semen:pasir:krikil adalah 1:1,5:2,5. Saat pembuatan plat, diambil dua sampel uji tekan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dalam sekali pengecoran. Sampel tersebut kemudian diuji tekan yang menghasilkan kuat tekan beton seperti tabel berikut ini:

**Tabel 4.1** Hasil uji tekan silinder

Benda Uji		Berat (Kg)	Pmax (N)	Kuat Tekan (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata2 (N/mm <sup>2</sup> )
Type	No				
TS-1	1	12.5	479000	27.11	29.67
	2	12.15	573000	32.43	
	3	12.25	665000	37.63	
	4	12.55	380000	21.50	
TS-2	1	12.25	547000	30.95	28.68
	2	12.25	427000	24.16	
	3	12.4	546000	30.90	
	4	12.3	455000	25.75	
	5	12.25	469000	26.54	
	6	12.35	597000	33.78	
SN-1	1	12.4	583000	32.99	31.24
	2	12.25	543000	30.73	
	3	12.45	445000	25.18	
	4	12.7	637000	36.05	
SN-2	1	12.25	381000	21.56	24.42
	2	12.05	496000	28.07	
	3	12.2	464000	26.26	
	4	12.15	385000	21.79	
SBB-1	1	12	428000	24.22	24.02
	2	12.5	488000	27.62	
	3	12.05	312000	17.66	
	4	12.25	470000	26.60	
SBB-2	1	12.2	662000	37.46	29.04
	2	12.2	276000	15.62	
	3	12.5	515000	29.14	
	4	12.25	600000	33.95	

Kuat tekan rata-rata ( $f'c$ ) yang diperoleh dari uji tekan adalah 27,84 Mpa.

Setelah pengujian lentur pada plat, dilakukan pula pengujian *hammer test* sebagai perbandingan hasil uji tekan beton. Hammer test adalah pengujian yang ditujukan untuk mengetahui kuat tekan pada beton yang telah dicor. Berikut ini adalah tabel hasil nilai kuat tekan pada hammer test:

**Tabel 4.2** Hasil *hammer test* plat beton

Nama Benda Uji	HAMMER TEST	Satuan
TS 1	31.05	Mpa
TS 2	31.19	
SN 1	24.18	
SN 2	25.68	
SBB 1	25.19	
SBB 2	25.66	
Rata-rata	27.16	

Kuat tekan rata-rata ( $f'c$ ) yang didapatkan dari *hammer test* adalah 27,16 Mpa. Nilai kuat tekan dari uji tekan maupun *hammer test* menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 27,5 MPa. Namun dengan tidak terpenuhinya persyaratan hammer test pada tebal minimum benda uji, maka tetap digunakan kuat tekan dari uji silinder pada perhitungan kuat lentur teoritis sebesar 27,84 Mpa. Angka ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan hasil eksperimen berbeda dari nilai kuat tekan rencana, yaitu 20 MPa.

#### 4.1.2 Styrofoam

*Styrofoam* digunakan sebagai rongga udara dalam plat beton agar berat volume plat beton berkurang dan lebih ringan. *Styrofoam* yang digunakan berdimensi 150 x 70 x 4 cm. Berat *styrofoam* yang didapatkan dari pengujian pada benda uji dengan dimensi 57,5 x 30 x 2 cm adalah 6,02 kg/m<sup>3</sup>. Lalu berat ini akan dipakai dalam perhitungan perbandingan berat volume antara plat beton dengan lapis *styrofoam* dan yang tidak dengan lapis *styrofoam*. Hasil yang diharapkan dari pengujian ini adalah penurunan berat volume plat namun kuat lentur dari keduanya tidak berbeda terlalu jauh.

#### 4.1.3 Bambu

Bambu memiliki kuat tarik yang cukup besar. Dalam penelitian ini, kuat tarik akan digunakan dalam perhitungan kuat lentur. Kuat tarik yang akan dipakai adalah angka yang diambil dari kutipan penelitian terdahulu tentang bambu oleh Nindyawati (2014).

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 4.3** Hasil Uji Tarik Bambu

P	Dimensi Bambu	A	P/A
(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

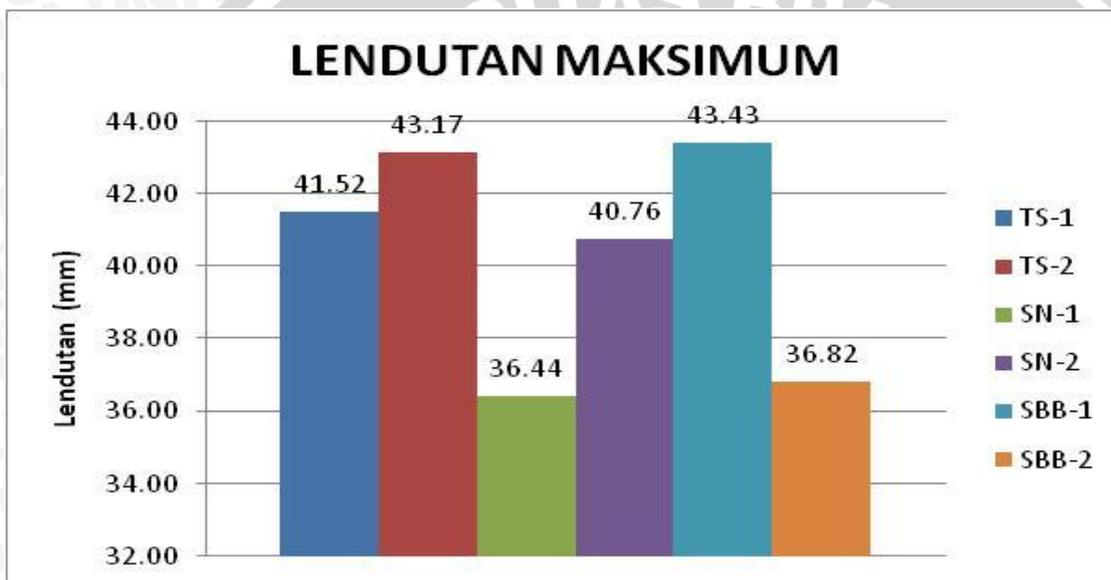
Maka nilai kuat tarik bambu yang dipakai dalam perhitungan kuat lentur adalah 180 Mpa.

#### 4.1.4 Nilai lendutan pelat *styrofoam* dan tanpa *styrofoam*.

Nilai lendutan pada benda uji dengan *styrofoam* maupun tidak, mempunyai perbedaan nilai lendutan yang timpang. Hal ini disebabkan oleh selisih rata-rata kuat tekan beton pada kedua jenis benda uji ini yang cukup besar. Sehingga nilai kuat tekan benda uji tanpa *styrofoam* harus dikonversi terlebih dahulu ke kuat tekan pada benda uji dengan lapis *styrofoam*. Konversi dilakukan dengan cara membandingkan Modulus Elastisitas beton kedua benda uji tersebut. Maka didapatkan nilai lendutan yang baru adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Rata-rata nilai lendutan setelah dikonversi pada kondisi runtuh

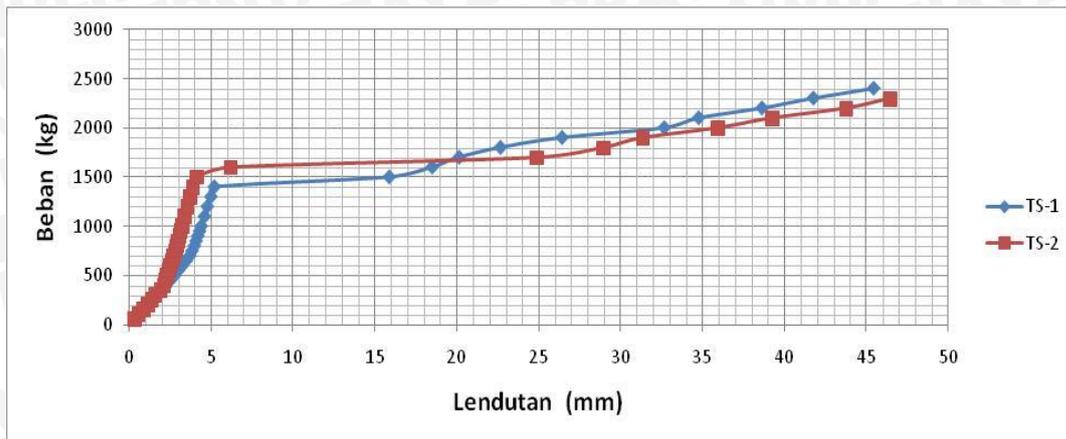
No	BENDA UJI	LENDUTAN			SATUAN
		AWAL	SETELAH KONVERSI	RATA-RATA	
1	TS -1	44.56	41.52	42.35	(mm)
2	TS-2	46.33	43.17		
3	SN-1	36.44	36.44	39.36	
4	SN-2	40.76	40.76		
5	SBB-1	43.43	43.43		
6	SBB-2	36.82	36.82		

**Gambar 4.1** Diagram lendutan maksimum plat dengan dan tanpa lapis *Styrofoam*.

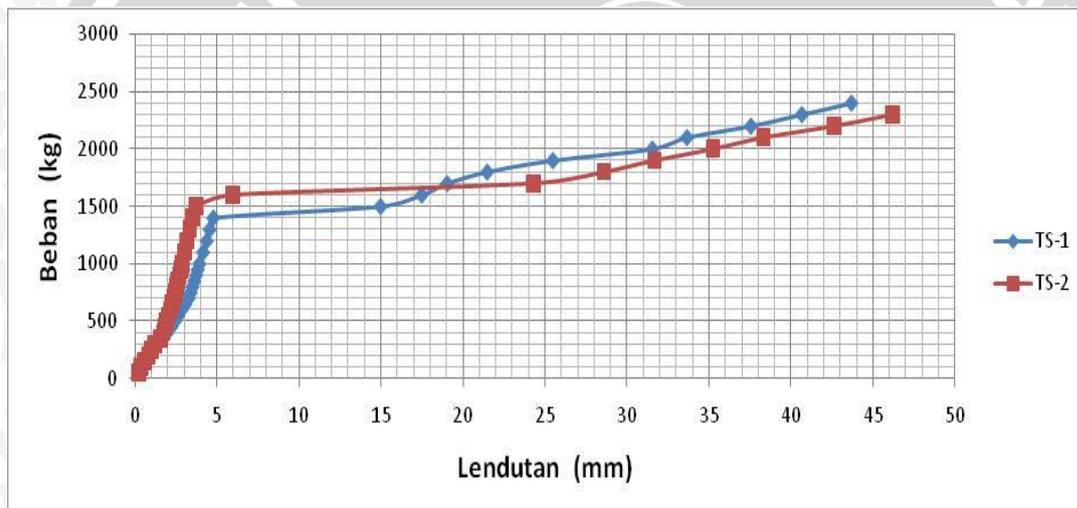
Pada pengujian didapatkan data yang terlampir pada **Gambar 4.1** dan **Tabel 4.4** diatas bahwa plat lapis *styrofoam* memiliki lendutan yang lebih kecil dari plat tanpa lapis *styrofoam* pada kondisi maksimum. Selisih lendutan rata-rata adalah 2,99 mm atau mengalami penurunan lendutan sebesar 7,05 %.

#### 4.1.5 Hasil Pengujian Plat Beton Terhadap Beban Vertikal

Setelah dilakukannya pengujian lentur dari benda uji pelat, diperoleh nilai-nilai lendutan pada setiap rentang nilai beban. Dari nilai-nilai tersebut, maka dapat diperoleh juga grafik hubungan antara beban dan lendutan. Berikut ini adalah hasil grafik hubungan beban dan lendutan yang disajikan dalam setiap jenis benda uji :

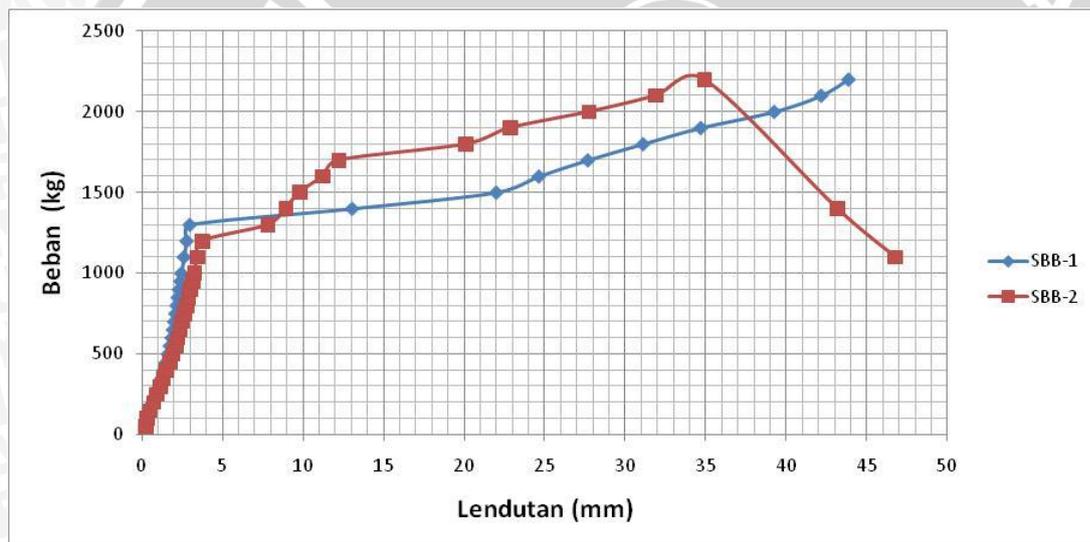
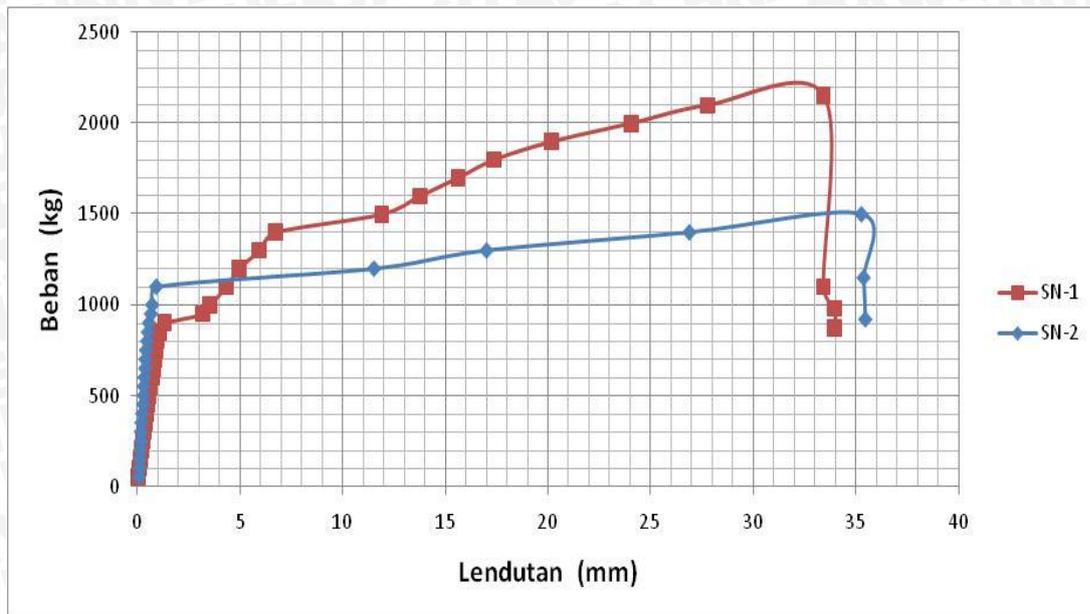


**Gambar 4.2** Grafik hubungan lendutan dan beban di titik 1 pelat beton tulangan bambu tanpa *Styrofoam*

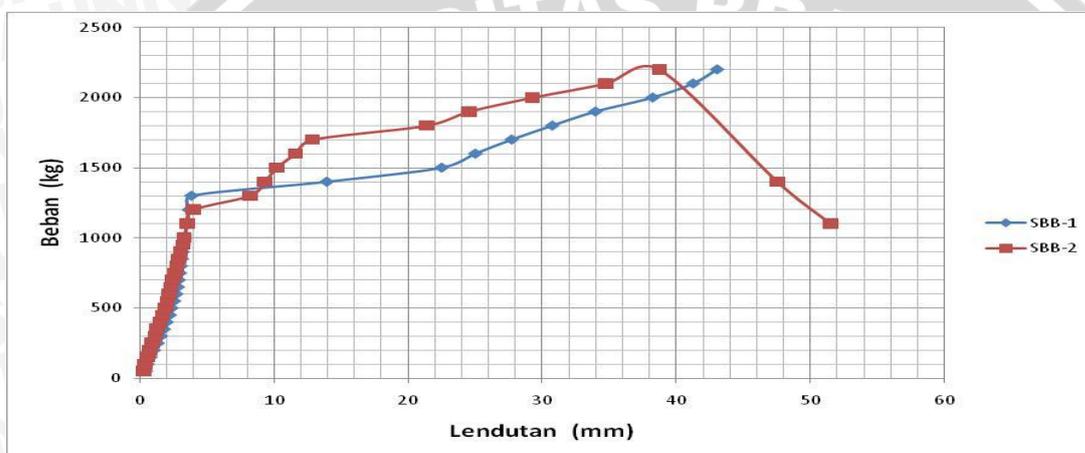
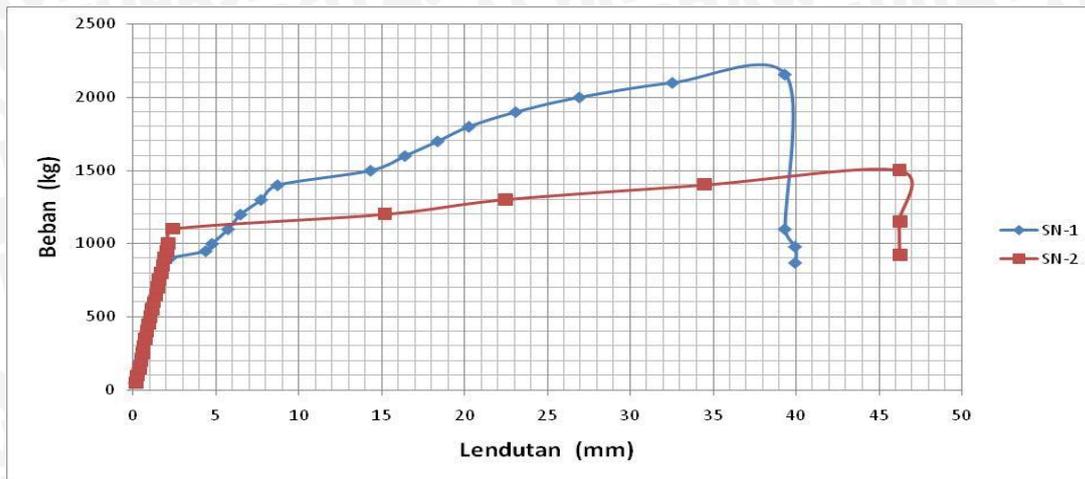


**Gambar 4.3** Grafik hubungan lendutan dan beban titik 2 pelat beton tulangan bambu tanpa *Styrofoam*

Pengujian pelat kontrol menghasilkan grafik hubungan beban dan lendutan yang memiliki pola kurva yang secara umum hampir sama pada kedua benda uji. Pelat beton tulangan bambu tanpa *styrofaoam* mengalami keruntuhan pada saat pengujian pelat telah mencapai beban 2630 kg untuk TS-1 dan 2600 kg untuk TS-2. Namun pola keruntuhan tidak dapat dilihat pada kedua grafik tersebut, karena keterbatasan alat uji LVDT yang hanya dapat membaca lendutan maksimum sebesar 50 mm. Sehingga titik runtuh beban pada saat beban 2630 kg dan 2600 kg tidak dapat terlihat karena lendutan yang terbaca telah melebihi batas kemampuan LVDT.



**Gambar 4.4** Grafik hubungan lendutan dan beban titik 1 pelat beton tulangan bambu isi *Styrofoam*



**Gambar 4.5** Grafik hubungan lendutan dan beban titik 2 pelat beton tulangan bambu isi *Styrofoam*

Pada percobaan pelat beton tulangan bambu isi *styrofoam*, didapatkan grafik hubungan lendutan dan beban yang menunjukkan bahwa pada saat runtuh, benda uji SBB-1 memiliki beban maksimum terbesar yaitu 2250 kg, dan lendutan sebesar 43,85 mm pada titik-1, dan 43,01 mm pada titik-2. Namun lendutan pada saat proses *unloading* dan pada saat keruntuhan tidak terbaca. Hal ini juga disebabkan oleh keterbatasan alat LVDT yang hanya dapat terbaca sampai lendutan kurang dari 50 mm. Sedangkan benda uji SN-2 memiliki beban maksimum terendah yaitu hanya 1500 kg dan memiliki lendutan tertinggi pada titik-2, yaitu 46,23 mm. Kuat lentur dari benda uji SN-2 yang sangat rendah, diperkirakan disebabkan oleh kesalahan pada pelaksanaan pengecoran dan pemeliharaan pelat selama 28 hari di lingkungan laboratorium.

## 4.2 Analisa Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis

### 4.2.1 Pemodelan Struktur

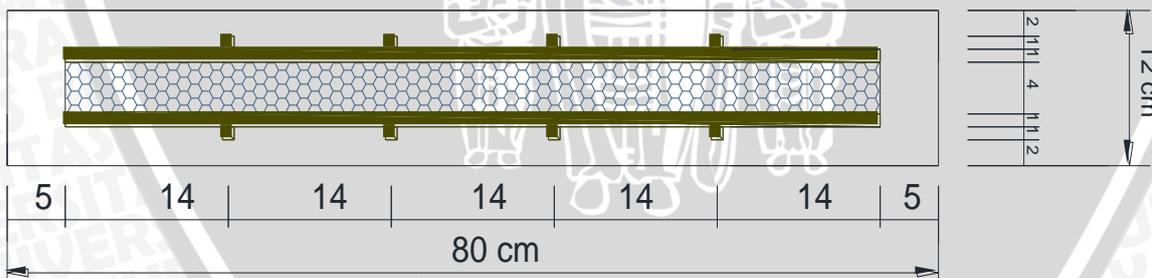
Sebelum dilakukan analisa perhitungan beban maksimum (Pu) secara teoritis harus dilakukan pemodelan struktur terlebih dahulu. Dimensi plat adalah 160 x 80 x 12 cm. Plat diasumsikan sebagai gelagar balok dengan tumpuan sendi-*roll*. Beban yang bekerja diasumsikan sebagai beban garis vertikal terpusat di tengah bentang.



**Gambar 4.6** 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 bambu tulangan tarik, sedangkan gaya tekan (*compression = C*) diberikan oleh beton didaerah tekan (*compression concrete = Cc*).



**Gambar 4.7** Detail Penampang Melintang

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

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

Diketahui,

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

$$f'_c = 27,84 \text{ Mpa} = 4040,64 \text{ psi}$$

$$b = 800 \text{ mm} = 31,496 \text{ in}$$

$$d = 95 \text{ mm} = 3,7402 \text{ in}$$

$$A_s = 800 \text{ mm}^2 = 1,24 \text{ in}^2$$

Penyelesaian

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

$$\rho = \frac{1,24}{31,496 \cdot 3,7402}$$

$$\rho = 0,0105$$

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

$$\rho_b = 0,85 \frac{0,85 \cdot 4040,64}{26124,82} \cdot \frac{87000}{87000 + 26124,82}$$

$$\rho_b = 0,086$$

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

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

$$A_{sb} = 0,086 \cdot 31,496 \cdot 3,7402$$

$$A_{sb} = 10,124 \text{ in}^2$$

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

Dengan demikian penampang ini bersifat *under-reinforced*. Kemudian dapat dihitung momen tahanan nominal dari penampang tersebut. Berikut adalah perhitungan beban maksimum teoritis dari plat yang direncanakan :

Diketahui :

$$A_s = 2 \times 1 \times 4 = 8 \text{ cm}^2 = 800 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2 \times 1 \times 4 = 8 \text{ cm}^2 = 800 \text{ mm}^2$$

$$f_c' = 27,84 \text{ Mpa} \quad d = 95 \text{ mm}$$

$$f_y = 180 \text{ Mpa (Nindyawati ,2014)} \quad b = 800 \text{ mm}$$

Analisis :

$$T = Cc$$

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{800 \cdot 180}{0,85 \cdot 27,84 \cdot 800} = 7,61 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{7,61}{0,85} = 8,95 \text{ mm}$$

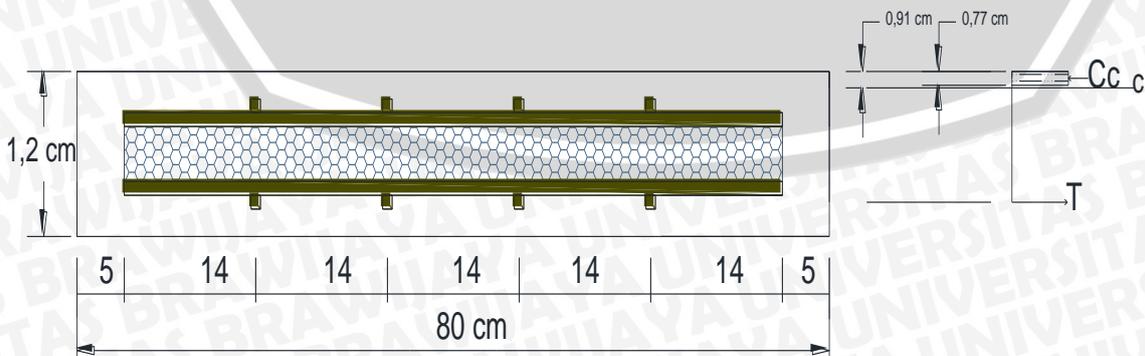
Maka kapasitas lentur nya :

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

$$= 800 \cdot 180 \left( 95 - \frac{7,61}{2} \right)$$

$$= 13132080 \text{ Nmm} = 1313,2080 \text{ kgm}$$

$$P_u = \frac{4 M_n}{l} = \frac{4 \cdot 1313,2080}{1,6} = 3283,02 \text{ kg}$$



Gambar 4.8 Diagram Tegangan Pelat

Dari perhitungan di atas didapatkan beban maksimum teoritis yang dapat ditahan oleh plat tersebut adalah 3283,02 kg. Hasil beban maksimum ini dapat mewakili beban maksimum untuk kedua jenis plat baik tanpa *styrofoam* maupun dengan lapis *styrofoam*. Karena diasumsikan plat dengan lapis *styrofoam* hanya berpengaruh sangat kecil pada kapasitas lenturnya.

### 4.3 Berat Volume Plat Beton

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

#### 4.3.1 Hasil Pengukuran Plat Beton

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

**Tabel 4.5** Hasil Pengukuran Plat Beton

No	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	TS 1	337.92	1.6	0.8	0.11	0.1408
2	TS 2	370.944	1.6	0.805	0.12	0.15456
3	SN 2	254.94084	1.61	0.8	0.115	0.14812
4	SN 2	264.40644	1.6	0.792	0.12	0.152064
5	SSB 1	258.96108	1.603	0.8	0.117	0.1500408
6	SSB 2	268.09284	1.6	0.8	0.12	0.1536

Keterangan :

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

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

SN-1 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* dan shear connector beton ke-1

SN-2 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* dan shear connector beton ke-2

SSB-1 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* dan shear connector bambu ke-1

SSB-2 = Benda uji dengan lapis *styrofoam* dan shear connector bambu ke-2

#### 4.3.2 Analisa Berat Volume Plat Beton

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

**Tabel 4.6** Analisa Berat Volume Plat Beton Tanpa Lapis *Styrofoam*

No	Benda Uji	Berat		Volume		Berat Volume	
1	TS 1	337.920	kg	0.141	m <sup>3</sup>	2400	kg/m <sup>3</sup>
2	TS 2	370.944	kg	0.155	m <sup>3</sup>	2400	kg/m <sup>3</sup>
Berat Volume Rata-Rata						2400	kg/m <sup>3</sup>

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

No	Benda Uji	Berat		Volume		Berat Volume	
1	SN 1	254.941	kg	0.148	m <sup>3</sup>	1721.178	kg/m <sup>3</sup>
2	SN 2	264.406	kg	0.152	m <sup>3</sup>	1738.784	kg/m <sup>3</sup>
3	SSB 1	258.961	kg	0.150	m <sup>3</sup>	1725.938	kg/m <sup>3</sup>
4	SSB 2	268.093	kg	0.154	m <sup>3</sup>	1745.396	kg/m <sup>3</sup>
Berat Volume Rata-Rata						1732.824	kg/m <sup>3</sup>

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata nilai berat volume pada plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* sebesar 2400 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan rata-rata nilai berat volume pada plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* sebesar 1732,824 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini membuktikan bahwa berat volume plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* berkurang sebesar 667,176 kg/m<sup>3</sup> atau sebesar 27,799 % dari berat volume pada plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.

#### 4.4 Pengujian Plat Beton Terhadap Beban Vertikal

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

Dalam satu benda uji berupa pelat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* maupun tanpa lapis *styrofoam* dengan ukuran 160 x 80 x 12 cm. Terdapat 2 buah LVDT yang diletakkan pada tengah bentang, di tengah dan pinggir bentang lebar untuk mengukur lendutan pada plat.

#### 4.4.1 Perbandingan kuat lentur pelat *styrofoam* dan tanpa *styrofoam*.

Benda uji dengan *styrofoam* diharapkan mampu menahan beban maksimum yang tidak terlalu jauh dari pelat beton normal namun mempunyai berat volume yang lebih kecil. Berikut adalah hasil nilai beban maksimum yang diperoleh dari penelitian:

**Tabel 4.8** Rata-rata beban pada kondisi runtuh

No	Benda Uji	Beban Maks. Aktual (kg)	Rata-Rata (kg)
1	TS-1	2630	2615
2	TS-2	2600	
3	SN-1	2157	2026.75
4	SN-2	1500	
5	SBB-1	2250	
6	SBB-2	2200	

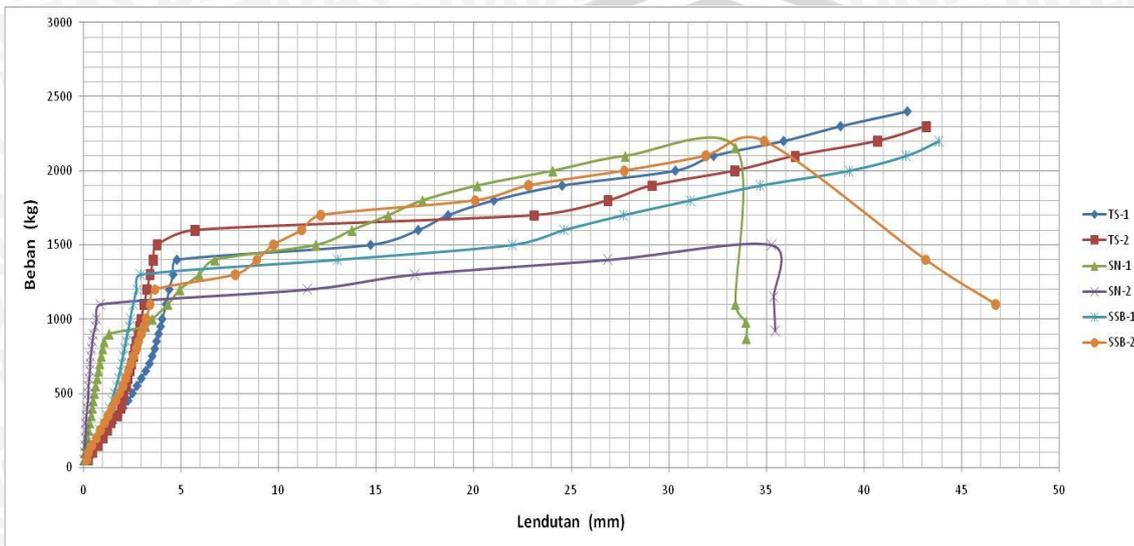


**Gambar 4.9** Diagram beban maksimum plat dengan dan tanpa lapis *Styrofoam*.

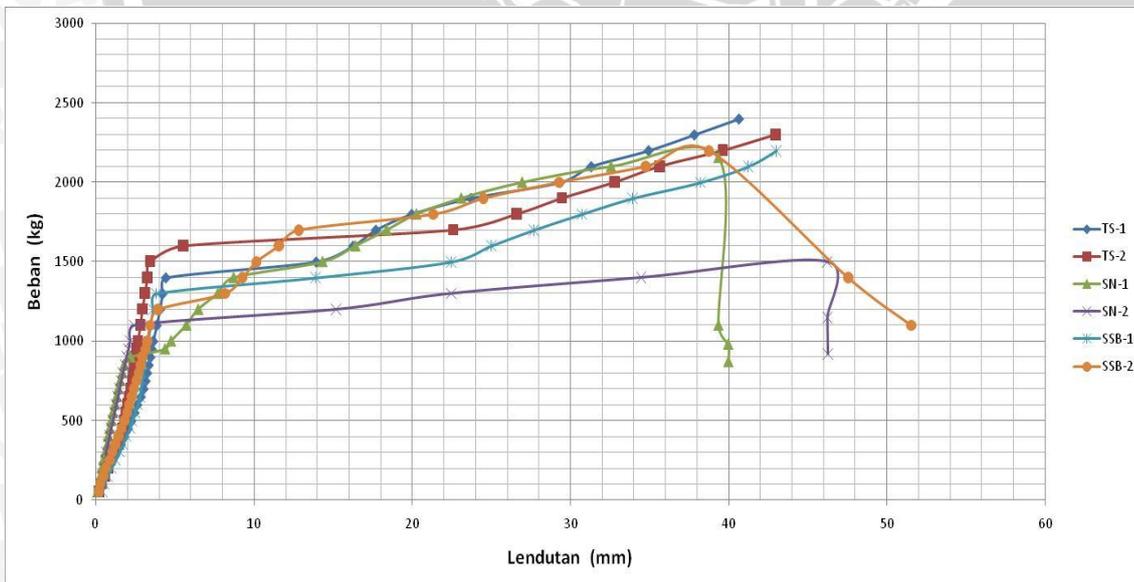
Dari diagram dan tabel diatas diperoleh beban maksimum yang dapat ditahan oleh pelat beton bertulangan bambu yang menggunakan *styrofoam* lebih kecil dibandingkan dengan pelat kontrol yang tidak menggunakan *styrofoam*. Pada kondisi ultimit, penurunan rata-rata kekuatan plat dengan menambahkan *styrofoam* sebagai rongga pengisi pelat sebesar 588,25 kg atau pelat tersebut mengalami rata-rata penurunan kekuatan sebesar 22,495 %.

#### 4.4.2 Hubungan kuat lentur dan lendutan pelat *styrofoam* dan tanpa *styrofoam* pada nilai kuat tekan yang sama .

Grafik hubungan lendutan dan beban untuk perbandingan beberapa benda uji harus menggunakan kuat tekan yang sama, sehingga lendutan yang dipakai adalah pada kondisi yang sama. Setelah diperoleh konversi nilai kuat tekan maka didapatkanlah grafik hubungan dengan kondisi yang sama seperti berikut



**Gambar 4.10** Grafik hubungan lendutan dan beban titik 1 pelat beton tulangan bambu isi *Styrofoam* dan tanpa *Styrofoam*.



**Gambar 4.11** Gambar hubungan lendutan dan beban titik 2 pelat beton tulangan bambu isi *Styrofoam* dan tanpa *Styrofoam*.

Dari kedua grafik diatas diperoleh penambahan *styrofoam* sebagai rongga pengisi pelat mengurangi beban maksimum yang dapat ditahan oleh pelat itu sendiri. Penurunan kuat lentur yang terlalu jauh seperti yang ditunjukkan oleh benda uji SN-2, dapat juga disebabkan oleh pelaksanaan yang kurang sempurna. Namun bila dilihat dari **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.8**, pelat jenis *styrofoam* maupun tanpa *styrofoam*, secara umum dapat menghasilkan grafik yang sama pada jenis nya masing-masing. Hanya saja alat pembaca lendutan menjadi kendala untuk mendapatkan grafik yang sempurna dan serupa.

#### 4.4.3 Perbandingan Kuat Lentur Teoritis dan Eksperimen

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

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

Pada perhitungan teoritis, beban maksimum yang direncanakan sebesar 3283,02 kg. Sedangkan pada eksperimen, rata-rata beban maksimum yang dihasilkan oleh pelat dengan lapis *styrofoam* adalah sebesar 2026,75 kg. Pada pelat kontrol yang tidak menggunakan lapis *Styrofoam*, rata-rata beban maksimum yang didapatkan adalah sebesar 2615 kg.



**Gambar 4.12** Diagram beban maksimum rata-rata teoritis dan eksperimen pada pengujian lentur satu arah

**Tabel 4.9** Perbandingan rata-rata beban maksimum aktual dan teoritis.

No	Benda Uji	Beban Maks. Aktual (kg)	Rata-Rata	Beban Maks. Teoritis (kg)	Perbandingan Selisih (%)
1	TS-1	2630	2615	3283.02	19.89
2	TS-2	2600		3283.02	20.80
3	SN-1	2157	2026.75	3283.02	34.30
4	SN-2	1500		3283.02	54.31
5	SBB-1	2250		3283.02	31.47
6	SBB-2	2200		3283.02	32.99

Dari diagram dan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan *styrofoam* sebagai rongga pengisi pelat mengurangi kuat lentur plat. Kuat lentur satu arah pada pengujian lebih kecil dibandingkan hasil teoritis, baik plat dengan lapis *Styrofoam* maupaun plat tanpa lapis *styrofoam*. Perbedaan Pu teoritis dan aktual tersebut dapat disebabkan karena pelaksanaan pengujian maupun pembuatan benda uji dalam eksperimen yang belum tepat sama dengan metode perencanaan. . Seperti disebabkan oleh *spreader beam* yang tidak rata menyentuh plat, kesalahan campuran cor, sampai pada pembebanan sebelum 28 hari yang terjadi di lingkungan laboratorium. Sehingga hasil penelitian yang didapat berbeda dengan perhitungan teoritis.

#### 4.4.4 Pola retak

**Gambar 4.13** Garis leleh pada pengujian lentur pelat TS-2 tanpa lapis *styrofoam*, satu arah



**Gambar 4.14** Garis leleh pada pengujian lentur pelat SBB-1 lapis *styrofoam*, satu arah

Berdasarkan dari pengujian lentur pelat beton bertulangan bambu yang dianggap sebagai balok sederhana dengan 2 tumpuan yang telah dilakukan, dapat diamati bagaimana pola retak yang terjadi. Benda uji TS-1 memiliki 2 jenis retakan, retakan pertama yang muncul tepat berada ditengah bentang yang merupakan retak lentur, kemudian retak geser muncul pada daerah tumpuan, seiring bertambahnya beban. Berbeda dengan benda uji SBB-1 dengan lapis *styrofoam*. SSB-1 mempunyai jenis retak lentur saja yang terletak di tengah bentang, tepatnya berada di daerah *shear connector* dan tulangan bagi. Adapun sebagian beton yang terlepas diakibatkan oleh lekatan antara tulangan bambu dan beton hilang.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian dan analisa yang telah dilakukan untuk mengetahui perbandingan kuat lentur satu arah dan berat volume pelat beton bertulangan bambu dengan pelat beton bertulangan bambu isi *styrofoam*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pelat tulangan bambu yang diberi rongga pengisi berupa *styrofoam* mengalami penurunan tahanan maksimal pelat sebesar 22,5 % dibandingkan dengan pelat tulangan bambu tanpa *styrofoam*.
2. Pelat tulangan bambu dengan lapis *styrofoam* mempunyai berat volume lebih kecil daripada pelat tanpa *styrofoam*. Berat volume berkurang sebesar 27,8 % dari berat volume pada plat beton bertulangan bambu tanpa lapis *styrofoam*.
3. Perhitungan Pteoritis plat bertulangan bambu didapatkan sebesar 3283,02 kg, Sedangkan pada eksperimental, rata-rata beban maksimum yang dihasilkan oleh plat dengan lapis *styrofoam* adalah sebesar 2026,75 kg. Pada pelat kontrol yang tidak menggunakan lapis *styrofoam*, rata-rata beban maksimum yang didapatkan adalah sebesar 2615 kg.

#### 5.2 Saran

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

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai kuat tarik dari bambu petung.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai shear connector untuk menunjang sifat komposit dari pelat dengan *styrofoam*, agar dapat bekerja secara bersama-sama.
3. Perlu diperkirakan lendutan yang terjadi akibat pengujian terhadap batas pengukuran lendutan dari LVDT yang dapat diperoleh, sehingga dapat memperoleh grafik hubungan beban dan lendutan yang sempurna.

4. Penggunaan *vibrator* dalam pembuatan benda uji sangat direkomendasikan untuk pemerataan campuran beton pada benda uji dan menghindari *void*.
5. Tidak ada pembebanan terhadap benda uji pada saat benda uji masih dalam masa pemeliharaan (sebelum 28 hari).
6. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai plat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam*, misalnya dengan dimensi dan bambu yang berbeda.



## DAFTAR PUSTAKA

- Dharma Giri, I.B., I Ketut Sudarsana dan N.L.P. Eka Agustiningsih. 2008. *Kuat Tarik Belah dan Lentur Beton Dengan Penambahan Styrofoam (Styrocon)*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 12, No. 2*
- Ghavami, K. 2004. Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, *Cement & Concrete Composites*. 27 (2005): 637-649
- Janssen, J. J.A. 1980. *Bamboo in Building Structure. The Mechanical Properties of Bamboo Used in Construction*. IDRC. Canada.
- 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
- McCormac, C. Jack., 2003. *Beton Bertulang*, Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga
- Nawy, E.G. 1998. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Cetakan II. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Nindyawati. 2014. *Panel Dinding Beton Ringan Bertulangan Bambu*. Disertasi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang : Bargie Media Press
- 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.
- Wibowo, Ari, 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

### Lampiran 1. Perhitungan Kuat tekan

Diketahui :

Diameter silinder : 150 mm

Maka luasan permukaan yang tertekan beban adalah

$$\text{Luas} = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} 150^2 = 17671,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat tekan (f'c)} = \frac{P \text{ Maks}}{\text{Luasan}}$$

### Lampiran 2. Laporan pengujian *Hammer Test*

Keterangan
Kurang atau lebih dari rata-rata

ELEMEN STRUKTUR		Pelat Struktur					
LOKASI PD. ELEMEN							
SUDUT PUKULAN		0	0	0	0	0	0
KODE BIDANG UJI		TS 1			TS 2		
TITIK TEMBAKAN KE							
NILAI LENTING PALU BETON ( R )	1	26	32	35	38	30	38
	2	35	40	36	40	36	34
	3	32	36	37	40	34	38
	4	40	42	36	32	36	40
	5	42	36	36	43	35	36
	6	34	38	38	43	35	38
	7	38	40	34	43	39	40
	8	42	40	38	38	42	40
	9	42	42	40	38	31	42
	10	40	42	36	42	37	42
Jumlah N		10	10	10	10	10	10
R MAKSIMUM		42	42	40	43	42	42
R MINIMUM		26	32	34	32	30	34
R RATA-RATA		37.1	38.8	36.6	39.7	35.5	38.8
R RATA RATA TERKOREKSI		38.3333	39.55556	36.6	40.556	35.375	38.8
PERKIRAAN KUAT TEKAN BETON TERKOREKSI (kubus)(kg/cm2)		376.90	398.53	346.81	416.46	325.94	385.12
Koreksi ke silinder (MPa)		0.83	31.28	33.08	28.78	34.57	27.05
Rata-rata (MPa)				31.05		31.19	

Laporan hasil pengujian *hammer test* pada benda uji tanpa *styrofoam* TS.

ELEMEN STRUKTUR		Pelat Struktur					
LOKASI PD. ELEMEN							
SUDUT PUKULAN		0	0	0	0	0	0
KODE BIDANG UJI		SN 1			SN 2		
TITIK TEMBAKAN KE							
NILAI LENTING PALU BETON ( R )	1	30	30	32	38	36	35
	2	36	37	33	30	33	34
	3	32	33	36	32	33	42
	4	32	30	37	38	30	43
	5	36	32	30	36	33	36
	6	32	33	30	35	34	36
	7	33	38	37	34	32	33
	8	36	32	33	42	33	33
	9	37	34	30	43	36	30
	10	30	36	32	36	33	33
Jumlah N		10	10	10	10	10	10
R MAKSIMUM		37	38	37	43	36	43
R MINIMUM		30	30	30	30	30	30
R RATA-RATA		33.4	33.5	33	36.4	33.3	35.5
R RATA RATA TERKOREKSI		33.4	33.5	33	35.571	33.3	34.2857
PERKIRAAN KUAT TEKAN BETON TERKOREKSI (kubus)(kg/cm2)		292.98	294.63	286.41	329.26	291.34	307.65
Koreksi ke silinder (MPa)		0.83	24.32	24.45	23.77	27.33	24.18
Rata-rata (MPa)			24.18		25.68		

Laporan hasil pengujian *hammer test* pada benda uji dengan *styrofoam* SN.

ELEMEN STRUKTUR		Pelat Struktur					
LOKASI PD. ELEMEN							
SUDUT PUKULAN		0	0	0	0	0	0
KODE BIDANG UJI		SBB 1			SBB 2		
TITIK TEMBAKAN KE							
NILAI LENTING PALU BETON ( R )	1	29	36	32	41	35	39
	2	32	33	41	38	35	32
	3	38	33	34	38	34	33
	4	37	30	38	34	31	32
	5	36	33	34	34	31	39
	6	32	34	36	39	34	35
	7	41	32	33	32	36	35
	8	34	33	33	33	36	34
	9	38	36	30	32	30	31
	10	34	33	33	39	28	31
Jumlah N		10	10	10	10	10	10
R MAKSIMUM		41	36	41	41	36	39
R MINIMUM		29	30	30	32	28	31
R RATA-RATA		35.1	33.3	34.4	36	33	34.1
R RATA RATA TERKOREKSI		35.125	33.3	33.667	36	33	34.1
PERKIRAAN KUAT TEKAN BETON TERKOREKSI (kubus)(kg/cm2)		321.72	291.34	297.38	336.54	286.41	304.56
Koreksi ke silinder (MPa)		0.83	26.70	24.18	24.68	27.93	23.77
Rata-rata (MPa)			25.19		25.66		

Laporan hasil pengujian *hammer test* pada benda uji dengan *styrofoam* SBB.

### Lampiran 3. Perhitungan Konversi Lentutan TS ke S

Nilai rata-rata mutu beton benda uji TS (Tanpa *Styrofoam*) di konversikan pada rata-rata mutu beton benda uji dengan *Styrofoam* dengan cara sebagai berikut :

Nama Spesimen	HAMMER TEST	UJI SILINDER		
TS 1	31.05	29.67	30.36	30.15
TS 2	31.19	28.67	29.93	
SN 1	24.18	31.23	27.71	26.18
SN 2	25.68	24.41	25.05	
SSB 1	25.19	24.02	24.60	
SSB 2	25.66	29.04	27.35	

- Rata-rata mutu beton TS-1 dari hasil *Hammer Test* dan uji tekan silinder  

$$f'c = \frac{31,05 + 29,67}{2} = 30,36 \text{ Mpa}$$

- Rata-rata mutu beton TS-2 dari hasil *Hammer Test* dan uji tekan silinder  

$$f'c = \frac{31,19 + 28,67}{2} = 29,93 \text{ Mpa}$$

- Rata-rata mutu beton benda uji Tanpa *Styrofoam*  

$$f'c = \frac{30,36 + 29,93}{2} = 30,15 \text{ Mpa}$$

$$E = 4700 \cdot \sqrt{f'c}$$

- Nilai Modulus Elastisitas benda uji Tanpa *Styrofoam* adalah  

$$E = 4700 \cdot \sqrt{30,15}$$

$$= 25805,44 \text{ Mpa}$$

- Nilai Modulus Elastisitas benda uji *Styrofoam* adalah  

$$E = 4700 \cdot \sqrt{26,18}$$

$$= 24046,65 \text{ Mpa}$$

- Maka konversi dilakukan dengan membandingkan persamaan lentutan :

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

$$\Delta S = \Delta TS$$

$$\frac{P \cdot l^3}{48E_S l} = \frac{P \cdot l^3}{48 E_{TS} l}$$

- Maka didapatkan harga konversi lentutan TS pada S adalah

$$\Delta S = \Delta TS \frac{E_S}{E_{TS}}, \text{ dan diperoleh harga konversinya menjadi :}$$

$$\frac{24046,65}{25805,44} = 0,93$$

No	BENDA UJI	LENDUTAN			SATUAN
		AWAL	SETELAH KONVERSI	RATA-RATA	
1	TS -1	44.56	41.52	42.35	(mm)
2	TS-2	46.33	43.17		
3	SN-1	36.44	36.44	39.36	
4	SN-2	40.76	40.76		
5	SBB-1	43.43	43.43		
6	SBB-2	36.82	36.82		

Maka didapatkan lendutan benda uji *styrofoam* yang baru dengan cara :

- $\Delta TS-1 = 44,56 \cdot 0,93 = 41,52$  mm
- $\Delta TS-2 = 46,33 \cdot 0,93 = 43,17$  mm

#### Lampiran 4. Tabel Hasil Pengujian

##### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji	:	<b>TS-1</b>
Tanggal pengujian	:	05/10/2016
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
		1 : 1,5 : 2,5
Komposisi benda uji	:	(Beton)
Ukuran Benda Uji	:	160 x 80 x 11 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Perletakan LVDT 1	:	Pinggir
Perletakan LVDT 2	:	Tengah

NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)			
		LVDT1	LVDT2	Baca 1	Baca 2
1	66	0.36	0.27	4.84	5.87
2	100	0.52	0.42	5	6.02
3	152	0.77	0.64	5.25	6.24
4	238	1.29	1.02	5.77	6.62
5	252	1.37	1.12	5.85	6.72
6	300	1.63	1.37	6.11	6.97
7	350	1.94	1.71	6.42	7.31
8	400	2.21	1.94	6.69	7.54
9	450	2.48	2.19	6.96	7.79
10	500	2.72	2.42	7.2	8.02
11	550	2.97	2.63	7.45	8.23
12	600	3.21	2.82	7.69	8.42
13	650	3.45	3.06	7.93	8.66
14	700	3.66	3.25	8.14	8.85
15	750	3.81	3.38	8.29	8.98

16	800	3.95	3.49	8.43	9.09
17	850	4.05	3.6	8.53	9.2
18	900	4.16	3.71	8.64	9.31
19	950	4.27	3.81	8.75	9.41
20	1000	4.36	3.91	8.84	9.51
21	1100	4.57	4.14	9.05	9.74
22	1200	4.74	4.36	9.22	9.96
23	1300	4.96	4.54	9.44	10.14
24	1400	5.17	4.76	9.65	10.36
25	1500	15.84	14.97	20.32	20.57
26	1600	18.46	17.48	22.94	23.08
27	1700	20.11	19.03	24.59	24.63
28	1800	22.63	21.47	27.11	27.07
29	1900	26.39	25.48	30.87	31.08
30	2000	32.63	31.55	37.11	37.15
31	2100	34.73	33.66	39.21	39.26
32	2200	38.59	37.56	43.07	43.16
33	2300	41.73	40.67	46.21	46.27
34	2400	45.41	43.7	49.89	49.3
35	2500				
36	2600				
37	2630				

keterangan :

ULTIMATE

### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji	:	TS-2
Tanggal pengujian	:	06/10/2016
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
	:	1 : 1,5 : 2,5
Komposisi benda uji	:	(Beton)
Ukuran Benda Uji	:	160 x 80,5 x 12 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Perletakan LVDT 1	:	Tengah
Perletakan LVDT 2	:	Pinggir

NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)			
		LVDT1	LVDT2	Baca 1	Baca 2
1	50	0.29	0.2	2.54	0.31
2	100	0.53	0.37	2.78	0.48
3	150	0.83	0.58	3.08	0.69
4	200	1.11	0.81	3.36	0.92
5	250	1.35	1	3.6	1.11
6	300	1.56	1.19	3.81	1.3

7	350	1.89	1.53	4.14	1.64
8	400	2.11	1.71	4.36	1.82
9	450	2.17	1.82	4.42	1.93
10	500	2.26	1.91	4.51	2.02
11	550	2.4	2.05	4.65	2.16
12	600	2.49	2.16	4.74	2.27
13	650	2.59	2.26	4.84	2.37
14	700	2.69	2.36	4.94	2.47
15	750	2.79	2.46	5.04	2.57
16	800	2.87	2.53	5.12	2.64
17	850	2.94	2.61	5.19	2.72
18	900	3.04	2.69	5.29	2.8
19	950	3.12	2.78	5.37	2.89
20	1000	3.2	2.85	5.45	2.96
21	1100	3.37	3.01	5.62	3.12
22	1200	3.52	3.15	5.77	3.26
23	1300	3.7	3.32	5.95	3.43
24	1400	3.87	3.49	6.12	3.6
25	1500	4.09	3.69	6.34	3.8
26	1600	6.17	5.93	8.42	6.04
27	1700	24.86	24.29	27.11	24.4
28	1800	28.92	28.59	31.17	28.7
29	1900	31.34	31.68	33.59	31.79
30	2000	35.9	35.24	38.15	35.35
31	2100	39.23	38.33	41.48	38.44
32	2200	43.75	42.61	46	42.72
33	2300	46.45	46.21	48.7	46.32
34	2400				
35	2500				
36	2600				

keterangan :

ULTIMATE

### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji	:	<b>SN-1</b>
Tanggal pengujian	:	07/10/2016
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
		1 : 1,5 : 2,5
Komposisi benda uji	:	(Beton)
Ukuran Benda Uji	:	161 x 80 x 11,5 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Perletakan LVDT 1	:	Pinggir
Perletakan LVDT 2	:	Tengah

NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)			
		LVDT1	LVDT2	Baca 1	Baca 2
1	50	0.04	0.08	1.89	2.46
2	100	0.09	0.18	1.94	2.56
3	150	0.15	0.28	2	2.66
4	200	0.22	0.36	2.07	2.74
5	250	0.28	0.46	2.13	2.84
6	300	0.34	0.58	2.19	2.96
7	350	0.42	0.72	2.27	3.1
8	400	0.47	0.77	2.32	3.15
9	450	0.51	0.86	2.36	3.24
10	500	0.58	0.96	2.43	3.34
11	550	0.64	1.06	2.49	3.44
12	600	0.72	1.19	2.57	3.57
13	650	0.78	1.3	2.63	3.68
14	700	0.85	1.4	2.7	3.78
15	750	0.93	1.52	2.78	3.9
16	800	1	1.66	2.85	4.04
17	850	1.07	1.77	2.92	4.15
18	900	1.33	2.18	3.18	4.56
19	950	3.21	4.36	5.06	6.74
20	1000	3.54	4.74	5.39	7.12
21	1100	4.34	5.71	6.19	8.09
22	1200	4.95	6.46	6.8	8.84
23	1300	5.95	7.7	7.8	10.08
24	1400	6.75	8.7	8.6	11.08
25	1500	11.92	14.32	13.77	16.7
26	1600	13.77	16.4	15.62	18.78
27	1700	15.63	18.37	17.48	20.75
28	1800	17.39	20.26	19.24	22.64
29	1900	20.2	23.09	22.05	25.47
30	2000	24.06	26.94	25.91	29.32
31	2100	27.78	32.56	29.63	34.94
32	2157	33.42	39.35	35.27	41.73
33	1100	33.42	39.35	35.27	41.73
34	980	33.96	39.97	35.81	42.35
35	870	33.98	39.98	35.83	42.36

keterangan :

ULTIMATE

### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji : **SN-2**  
 Tanggal pengujian : 10/10/2016  
 Tempat Pengujian : Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB  
 1 : 1,5 : 2,5  
 Komposisi benda uji : (Beton)  
 Ukuran Benda Uji : 160 x 79,2 x 12 cm  
 Umur Benda Uji : 28 hari  
 Perletakan LVDT 1 : Pinggir  
 Perletakan LVDT 2 : Tengah

NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)			
		LVDT1	LVDT2	Baca 1	Baca2
1	50	0.06	0.2	1.5	3.8
2	100	0.09	0.3	1.53	3.9
3	150	0.1	0.41	1.54	4.01
4	200	0.12	0.52	1.56	4.12
5	250	0.15	0.62	1.59	4.22
6	300	0.15	0.65	1.59	4.25
7	350	0.18	0.75	1.62	4.35
8	400	0.22	0.87	1.66	4.47
9	450	0.26	0.96	1.7	4.56
10	500	0.28	1.08	1.72	4.68
11	550	0.29	1.19	1.73	4.79
12	600	0.32	1.29	1.76	4.89
13	650	0.36	1.41	1.8	5.01
14	700	0.37	1.5	1.81	5.1
15	750	0.4	1.6	1.84	5.2
16	800	0.45	1.72	1.89	5.32
17	850	0.49	1.83	1.93	5.43
18	900	0.54	1.94	1.98	5.54
19	950	0.64	2.06	2.08	5.66
20	1000	0.7	2.16	2.14	5.76
21	1100	0.9	2.42	2.34	6.02
22	1200	11.51	15.2	12.95	18.8
23	1300	17	22.47	18.44	26.07
24	1400	26.89	34.48	28.33	38.08
25	1500	35.28	46.23	36.72	49.83
26	1150	35.39	46.25	36.83	49.85
27	920	35.47	46.28	36.91	49.88

**keterangan :**

**ULTIMATE**

### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji	:	<b>SBB-1</b>
Tanggal pengujian	:	12/10/2016
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
		1 : 1,5 : 2,5
Komposisi benda uji	:	(Beton)
Ukuran Benda Uji	:	160,3 x 80 x 11,7 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Perletakan LVDT 1	:	Pinggir
Perletakan LVDT 2	:	Tengah

NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)			
		LVDT1	LVDT2	Baca 1	Baca 2
1	50	0.21	0.4	3.93	3.24
2	100	0.28	0.51	4	3.35
3	150	0.46	0.74	4.18	3.58
4	200	0.64	0.99	4.36	3.83
5	250	0.84	1.26	4.56	4.1
6	300	1.06	1.5	4.78	4.34
7	350	1.2	1.73	4.92	4.57
8	400	1.33	1.93	5.05	4.77
9	450	1.49	2.17	5.21	5.01
10	500	1.59	2.3	5.31	5.14
11	550	1.71	2.49	5.43	5.33
12	600	1.82	2.66	5.54	5.5
13	650	1.9	2.77	5.62	5.61
14	700	1.97	2.84	5.69	5.68
15	750	2.05	2.93	5.77	5.77
16	800	2.12	3	5.84	5.84
17	850	2.2	3.08	5.92	5.92
18	900	2.27	3.14	5.99	5.98
19	950	2.36	3.22	6.08	6.06
20	1000	2.42	3.3	6.14	6.14
21	1100	2.58	3.45	6.3	6.29
22	1200	2.75	3.61	6.47	6.45
23	1300	2.94	3.8	6.66	6.64
24	1400	13.02	13.89	16.74	16.73
25	1500	21.97	22.46	25.69	25.3
26	1600	24.62	24.97	28.34	27.81
27	1700	27.66	27.68	31.38	30.52
28	1800	31.09	30.71	34.81	33.55
29	1900	34.67	33.93	38.39	36.77
30	2000	39.23	38.2	42.95	41.04
31	2100	42.15	41.22	47.57	44.06
32	2200	43.85	43.01	45.87	45.85
33	2250				

keterangan :

ULTIMATE

### Pengujian Lentur Plat Satu Arah

Nama Benda Uji	:	<b>SBB-2</b>
Tanggal pengujian	:	12/10/2016
Tempat Pengujian	:	Laboratorium Struktur Teknik Sipil UB
		1 : 1,5 : 2,5
Komposisi benda uji	:	(Beton)
Ukuran Benda Uji	:	160 x 80 x 12 cm
Umur Benda Uji	:	28 hari
Perletakan LVDT 1	:	Pinggir
Perletakan LVDT 2	:	Tengah

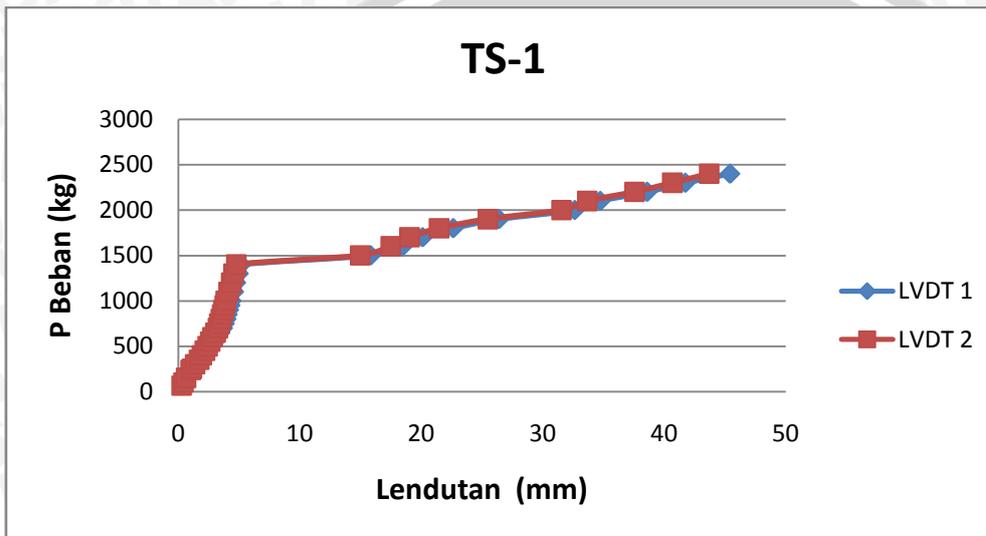
NO	BEBAN(kg)	LENDUTAN (mm)			
		LVDT1	LVDT2	Baca 1	Baca 2
1	50	0.18	0.21	2.69	3.59
2	100	0.26	0.29	2.77	3.67
3	150	0.45	0.48	2.96	3.86
4	200	0.67	0.66	3.18	4.04
5	250	0.88	0.88	3.39	4.26
6	300	1.09	1.07	3.6	4.45
7	350	1.28	1.24	3.79	4.62
8	400	1.47	1.45	3.98	4.83
9	450	1.67	1.63	4.18	5.01
10	500	1.87	1.83	4.38	5.21
11	550	2.04	2	4.55	5.38
12	600	2.17	2.14	4.68	5.52
13	650	2.31	2.27	4.82	5.65
14	700	2.44	2.42	4.95	5.8
15	750	2.57	2.6	5.08	5.98
16	800	2.72	2.72	5.23	6.1
17	850	2.84	2.84	5.35	6.22
18	900	2.97	2.97	5.48	6.35
19	950	3.1	3.15	5.61	6.53
20	1000	3.22	3.26	5.73	6.64
21	1100	3.43	3.45	5.94	6.83
22	1200	3.68	3.94	6.19	7.32
23	1300	7.78	8.15	10.29	11.53
24	1400	8.89	9.27	11.4	12.65
25	1500	9.75	10.15	12.26	13.53
26	1600	11.19	11.56	13.7	14.94
27	1700	12.18	12.83	14.69	16.21
28	1800	20.09	21.34	22.6	24.72
29	1900	22.82	24.51	25.33	27.89
30	2000	27.73	29.27	30.24	32.65
31	2100	31.9	34.74	34.41	38.12

32	2200	34.9	38.74	37.41	42.12
33	1400	43.17	47.55	45.68	50.93
34	1100	46.76	51.53	49.27	54.91

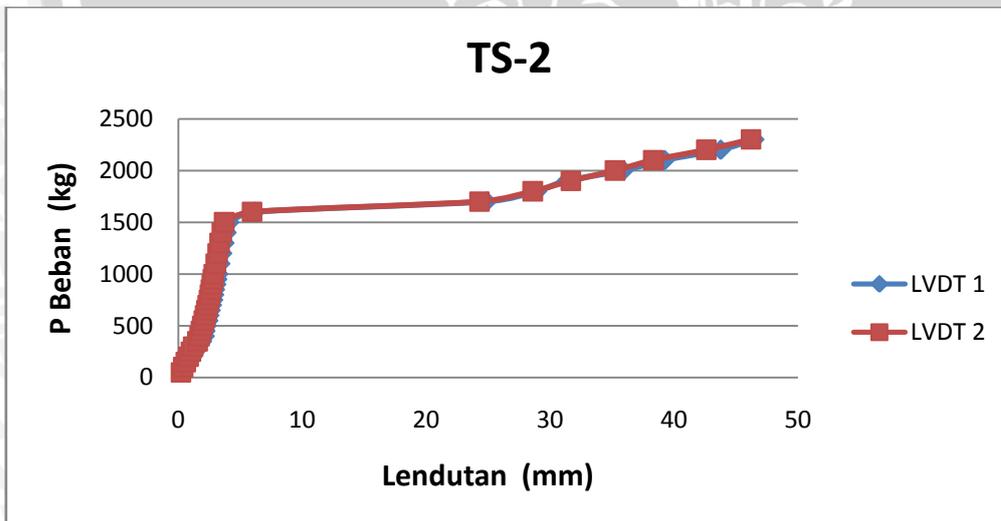
keterangan :

ULTIMATE

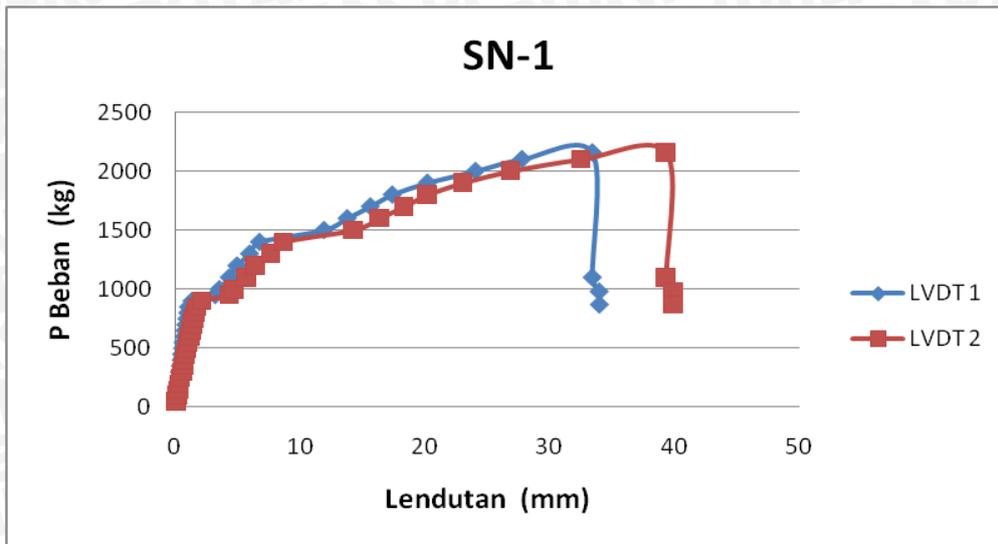
Lampiran 5. Grafik hubungan beban dan lendutan pada pelat



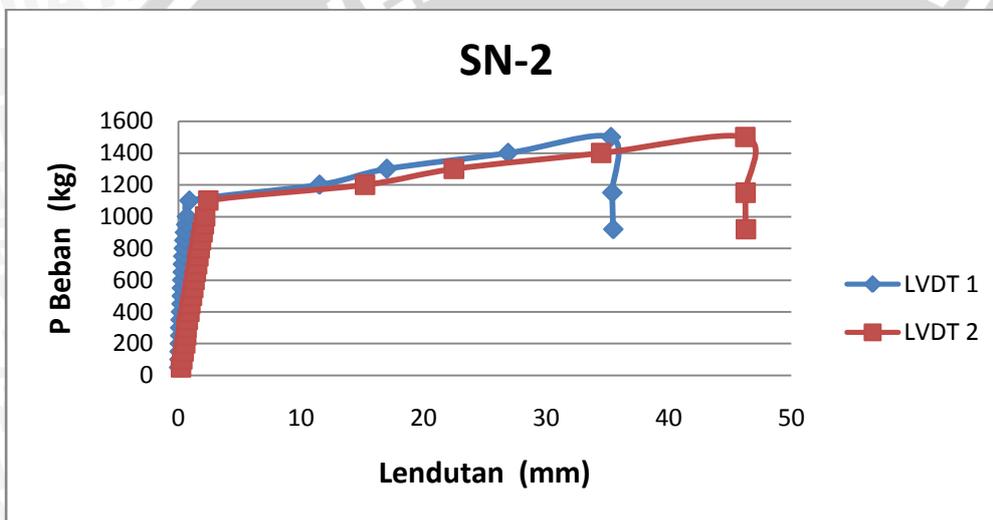
Grafik hubungan beban dan lendutan pada benda uji TS-1



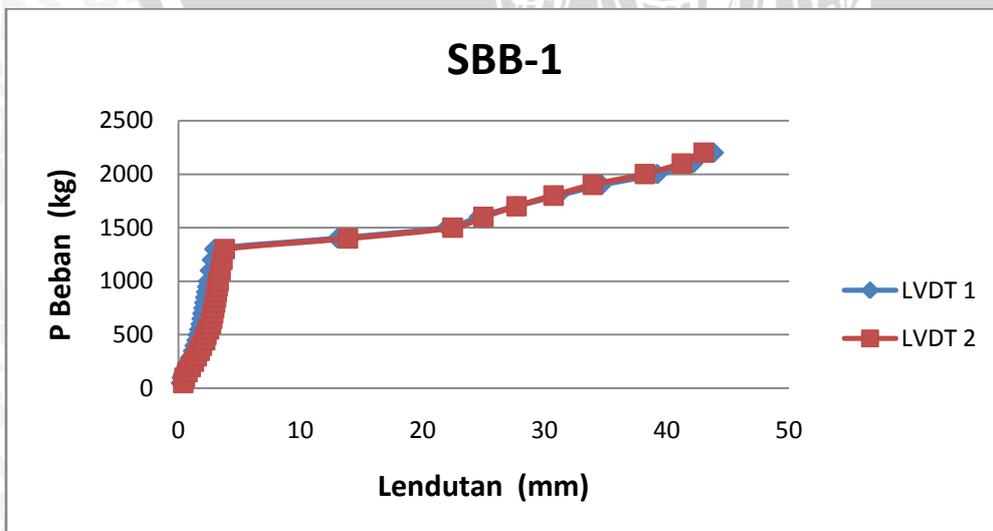
Grafik hubungan beban dan lendutan pada benda uji TS-1



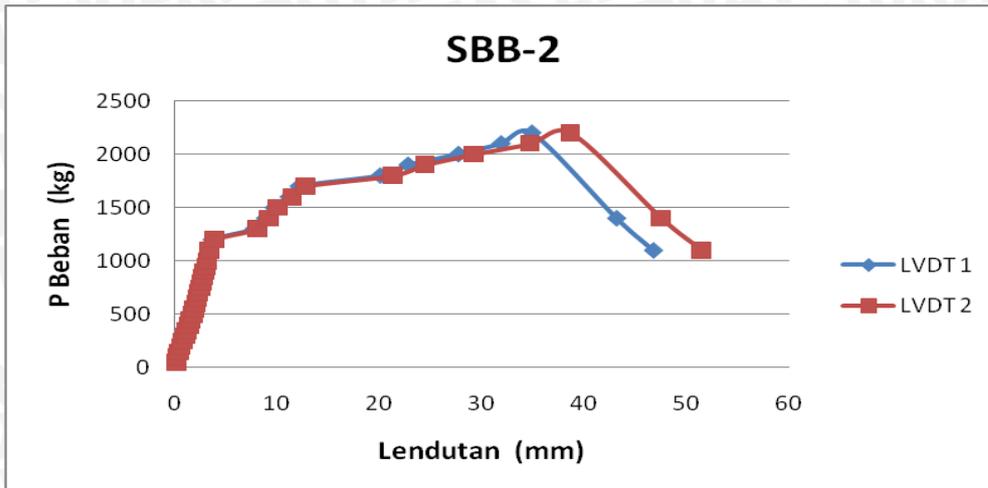
Grafik hubungan beban dan lendutan pada benda uji SN-1



Grafik hubungan beban dan lendutan pada benda uji SN-2



Grafik hubungan beban dan lendutan pada benda uji SBB-1



Grafik hubungan beban dan lendutan pada benda uji SBB-2

**Lampiran 6. Berat Jenis Styrofoam**



Berat styrofoam yang didapatkan dari benda uji dengan dimensi 57,5 x 30 x 2 cm adalah 20,76 gram. Sehingga didapatkan berat jenis nya adalah  $6,02 \text{ kg/m}^3$

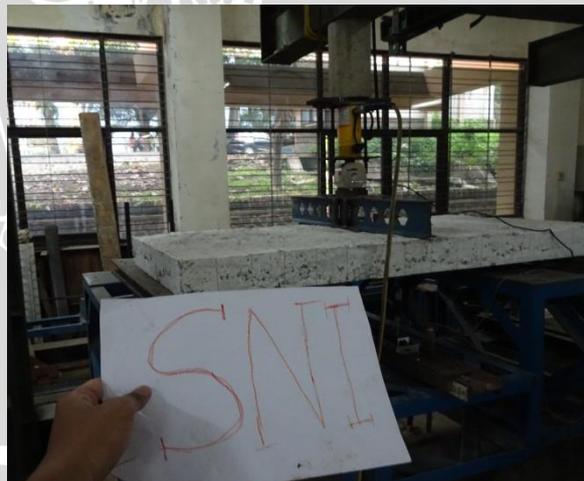
**Lampiran 7. Dokumentasi penelitian**



Persiapan dan material pembuatan benda uji



Proses pengecoran benda uji



Pengujian pelat



Hasil pengujian pelat tanpa styrofoam TS-1



Hasil pengujian pelat tanpa styrofoam TS-2



Hasil pengujian pelat dengan styrofoam SN-1



Hasil pengujian pelat dengan styrofoam SN-2



Hasil pengujian pelat dengan styrofoam SBB-1

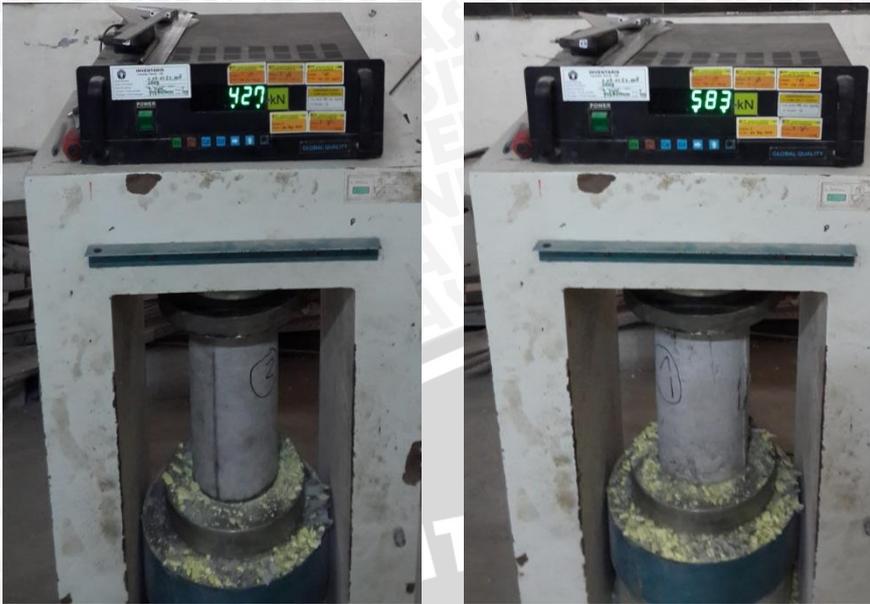


Hasil pengujian pelat dengan styrofoam SBB-2

**Lampiran 8. Dokumentasi Uji tekan silinder**



Proses caping permukaan silinder



Proses pengujian tekan pada benda uji silinder

