

**APLIKASI RANCANGAN
DAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
BAMBU BILAH IKAT SEBAGAI ELEMEN STRUKTURAL**



Disusun Oleh:

Ketua Peneliti :

Anastasia Maurina, ST., MT.

Tim Peneliti :

Budianastas P., ST., MT.

Michellina Septiana, ST.

Bernadette Sudira

Jesslyn Priscilla

Dosen Pembina :

Dr. Kamal A. Arif (Lektor)

Dr. Adhijoso Tjondro (Lektor Kepala)

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Katolik Parahyangan
2015**

ABSTRAK

APLIKASI RANCANGAN DAN PENGUJIAN KUAT TEKAN BAMBU BILAH IKAT SEBAGAI ELEMEN STRUKTURAL

Anastasia Maurina¹, Budianastas P,
Michellina Septiana, Bernadete Sudira, Jesslyn Priscilla

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

¹Email : anastasia.maurina@gmail.com

Bambu memiliki kekhususan karakteristik dibandingkan dengan material konstruksi lainnya, yaitu memiliki keelastisan dan kefleksibelan yang cukup tinggi. Hal ini dapat membawa dampak yang positif dan negatif dalam penerapannya sebagai elemen struktur. Dampak negatifnya, bambu akan lebih mudah tekuk dan akan lebih mudah lendut. Dampak positifnya, bambu lebih mudah dibuat menjadi elemen lengkung dibandingkan dengan material konstruksi lainnya. Namun, walaupun memiliki sifat elastic dan fleksibel yang tinggi, mengaplikasikan bambu utuh sebagai elemen lengkung cukup sulit untuk membuat kelengkungan yang diinginkan oleh perancang. Salah satu teknik melengkungkan bambu yang saat ini mulai digunakan di Indonesia adalah menggunakan bambu bilah ikat. Dengan teknik tersebut, dimensi dan bentuk lengkung yang dihasilkan bisa sangat beragam sesuai dengan rancangan arsitekturnya. Belum banyaknya penelitian mengenai bambu bilah ikat. Hal ini menyebabkan arsitek memakai instuisi dan logika struktur didalam menentukan struktur bambu yang memanfaatkan bambu bilah ini dengan metoda *trial and error*. Sehingga peneliti bertujuan untuk mengkaji peran bambu bilah ikat di dalam aspek arsitektural dalam fungsi formal dan spasialnya serta aspek struktural dalam fungsi mekanikanya. Selain itu penelitian ini juga menguji salah satu properti materialnya, yaitu kekuatan tekan.

Penelitian ini merupakan penelitian yang menggabungkan 2 (dua) metode penelitian yaitu metode deskriptif – kualitatif dan metode experimental – kuantitatif. Melalui metode deskriptif – kualitatif, penelitian bertujuan untuk mendeskripsikan, mengidentifikasi permasalahan, membandingkan dan mengevaluasi aplikasi bambu bilah ikat pada objek studi dalam fungsi mekanika dan fungsi formal spasialnya secara kualitatif. Sedangkan penggunaan metode experimental – kuantitatif bertujuan untuk menguji kekuatan tekan dari bambu bilah ikat secara kualitatif dengan 2 faktor pengujian, yaitu: jenis bambu dan jarak ikatan serta membandingkannya dengan bambu utuh. Objek penelitian yang diambil pada penelitian ini adalah *Pearl Beach Lounge* di Gili Trawangan dan *Musholla Bambu* di Desa Cibodas.

Hasil dari penelitian ini adalah bambu bilah ikat lebih tepat guna diaplikasikan sebagai elemen struktural berbentuk lengkung untuk bentuk bangunan organic, asimetri, dan tidak teratur dalam dimensi serta untuk menghasilkan kualitas ruang yang natural, informal dan luwes. Jenis bambu dan jarak ikatan bambu akan mempengaruhi kekuatan bambu bilah ikat dan bambu bilah ikat ini tidak direkomendasikan sebagai elemen struktural yang menyalurkan beban aksial searah serat.

Kata kunci: bambu bilah ikat, lengkung, kuat tekan

DAFTAR ISI

Abstraksi

Daftar Isi

BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Permasalahan	2
1.3. Tujuan Khusus dan Target Luaran	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Urgensi Penelitian	2
1.6. Sistematika Pembahasan.....	3
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA.....	4
2.1. Road Map Penelitian.....	4
2.2. Struktur dalam Fungsi Mekanika dan Spasial	5
2.3. Bambu Sebagai Elemen Struktural.....	5
2.3.1. Sifat Mekanika Bambu	5
2.3.2. Jenis-jenis Bambu di Indonesia untuk Konstruksi.....	5
2.3.3. Bambu Lengkung.....	6
2.3.4. Bambu Bilah.....	7
2.3.5. Elemen Lengkung dari Batang Tanaman (<i>Vegetal Rods</i>).....	8
2.4. Sistem Struktur.....	8
2.4.1. Sistem Struktur Busur.....	8
2.4.2. Sistem Struktur Cangkang dengan Bentuk Bola	9
2.4.3. Sistem <i>Space Frame Single Layer</i>	10
2.4.4. Sistem Struktur Rusuk/ <i>Rafter Roof</i>	10
2.5. Prinsip Struktur	11
2.5.1. Penyaluran Beban Aksial dan Tranversal.....	11
2.5.2. Gaya yang Terjadi pada Elemen Struktural.....	13
BAB 3. METODE PENELITIAN	14
3.1. Jenis Penelitian	14
3.2. Objek Penelitian.....	14
3.3. Kerangka Penelitian	15
3.4. Teknik Pengumpulan Data.....	15
3.5. Teknik Analisis Data.....	16
3.6. Tahapan Penelitian.....	16
3.7. Jadwal Penelitian.....	17
3.8. Kontribusi Penelitian	17
BAB 4. APLIKASI BAMBILAH IKAT DALAM FUNGSI MEKANIKA DAN FUNGSI FORMAL SPASIAL.....	18
4.1. Aplikasi Bambu Bilah Ikat Sebagai Elemen Struktural pada Pearl Beach Lounge, Gili Trawangan, NTB.....	18

4.1.1.	Analisis Fungsi Formal Spasial	19
4.1.2.	Analisis Fungsi Mekanika	21
4.2.	Aplikasi Bambu Bilah Ikat Sebagai Elemen Struktural pada Musholla Bambu di Desa Cibodas, Jawa Barat	22
4.2.1.	Analisis Fungsi Formal Spasial	24
4.2.2.	Analisis Fungsi Mekanika	25
4.3.	Komparasi dan Kesimpulan	27
BAB 5. KUAT TEKAN BAMBU BILAH IKAT		28
5.1.	Kuat Tekan Bambu Tali	28
5.1.1.	Bambu Tali Utuh	28
5.1.2.	Bambu Tali Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 25 cm	29
5.1.3.	Bambu Tali Bllah Ikat dengan Jarak Ikatan 50 cm	30
5.2.	Kuat Tekan Bambu Gombang	31
5.2.1.	Bambu Gombang Utuh	31
5.2.2.	Bambu Gombang Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 25 cm	32
5.2.3.	Bambu Gombang Bllah Ikat dengan Jarak Ikatan 50 cm	33
5.3.	Komparasi Kuat Tekan	34
5.3.1.	Beban Tekan Ultimate	34
5.3.2.	Kuat Tekan	35
5.3.3.	Deformasi dan Kerusakan	36
5.4.	Kesimpulan	37
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN		38
6.1.	Kesimpulan	38
6.2.	Saran	39

Daftar Pustaka

BAB I PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Bambu memiliki kekhususan karakteristik dibandingkan dengan material konstruksi lainnya, yaitu memiliki keelastisan dan kefleksibelan yang cukup tinggi. Hal ini dapat membawa dampak yang positif dan negatif dalam penerapannya sebagai elemen struktur. Dampak negatifnya, bambu akan lebih mudah tekuk pada penerapannya sebagai elemen struktur yang menyalurkan beban secara aksial tekan (tekan sejajar serat) dan akan lebih mudah lendut pada penerapannya sebagai elemen struktur yang menyalurkan beban secara transversal. Dampak positifnya, dengan keelastisan dan kefleksibelannya, bambu lebih mudah dibuat menjadi elemen lengkung dibandingkan dengan material konstruksi lainnya, seperti kayu dan baja.

Namun, walaupun memiliki sifat elastis dan fleksibel yang tinggi, mengaplikasikan bambu utuh sebagai elemen lengkung cukup sulit untuk membuat kelengkungan yang diinginkan oleh perancang. Saat ini, sudah ada beberapa pengembangan teknologi melengkungkan bambu untuk digunakan sebagai material bangunan. Hal ini berdampak pada eksplorasi bentuk yang dapat dilakukan lebih leluasa sehingga muncul desain arsitektur bambu kekinian yang cenderung mengambil bentuk-bentuk organik.

Salah satu teknik melengkungkan bambu yang saat ini mulai digunakan di Indonesia adalah menggunakan bambu bilah ikat. Teknik bambu bilah ikat ini pada prinsipnya adalah membelah bambu menjadi beberapa bagian searah serat, kemudian menggabungkan kembali bilah-bilah tersebut dengan diikat dan atau dilem. Dengan teknik tersebut, dimensi dan bentuk lengkung yang dihasilkan bisa sangat beragam sesuai dengan rancangan arsitekturnya.¹

Beberapa proyek di Indonesia yang menggunakan teknik bambu bilah ikat ini adalah Bamboo Village di Ubud (Gambar 1.1-1), Pearl Beach Lounge di Gili Trawangan (Gambar 1.1-2), Puri Ahimsa di Ubud (Gambar 1.1-3), dan Musholla Bambu di Cibodas (Gambar 1.1-4). Pada proyek tersebut, penggunaan teknik bambu bilah ikat digunakan sebagai elemen pembentuk struktur utama maupun elemen struktur sekunder.



Gambar 1.1 Bamboo Village di Ubud (1), Pearl Beach Lounge di Gili Trawangan (2), Puri Ahimsa di Ubud (3), Musholla Bambu di Cibodas (4)

sumber : The Art of Natural Building: Design, Construction, Resources (2015), www.pearlbeachlounge.com, www.fivelements.org, dokumentasi peneliti

¹ IL team, The Use of Vegetal Rods for Arches, Vaults, Domes, and Shells, Karl Kramer Verlag Stuttgart, Jerman, 2000, hlm. 314 (diterjemahkan dan dirangkum)

Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari lebih dalam mengenai teknik bambu bilah ikat sebagai teknik yang terbilang baru mulai berkembang di Indonesia, sehingga diharapkan melalui penelitian ini, penggunaan teknik bambu bilah sebagai pembentuk elemen lengkung pada struktur bambu dapat lebih berkembang dan bervariasi.

I.2 RUMUSAN PERMASALAHAN

Belum terlalu banyak penelitian di bidang bambu, terutama di bambu bilah ikat. Sedangkan potensi penggunaan bambu bilah ikat ini sangat besar dalam mendukung arsitek membuat bentuk-bentuk organik. Hal ini menyebabkan arsitek memakai instuisi dan logika struktur didalam menentukan struktur bambu yang memanfaatkan bambu bilah ini dengan metoda *trial and error*. Berdasarkan hal tersebut, maka pertanyaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan bambu bilah ikat dalam arsitektur sebagai elemen struktural ditinjau dari fungsi mekanika dan fungsi formal spasialnya?
2. Bagaimanakah properti material bambu bilah ikat, kekuatan tekannya berdasarkan jenis bambu (bambu tali dan bambu gombang), bentuk elemen (utuh dan bilah ikat) serta jarak ikatan pada bambu bilah (25 cm dan 50cm)?

I.3 TUJUAN KHUSUS DAN TARGET LUARAN

Tujuan khusus dalam penelitian ini adalah mengkaji peran bambu bilah ikat di dalam bentuk arsitektural dan bentuk struktural serta menguji properti materialnya (kekuatan tekan)

Target luaran penelitian ini adalah makalah ilmiah yang disampaikan pada seminar atau jurnal serta materi workshop konstruksi pada kegiatan Parahyangan Bamboo Nation 2.

I.4 MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan keilmuan mengenai perancangan struktur bangunan organik dengan material bambu, terutama penggunaan teknologi bambu bilah ikat.

I.5 URGENSI PENELITIAN

Bambu bilah mulai diaplikasikan karena kemampuannya yang melengkung sesuai dengan keinginan perancang, dan juga menghasilkan estetika tersendiri. Hal ini menjadi bagian yang berpengaruh dalam eksplorasi desain dan material pada perancangan arsitektur. Hingga saat ini belum ada penelitian mengenai bambu bilah ini sehingga diperlukan adanya uji laboratorium agar teknik bambu bilah dapat dimanfaatkan secara maksimal.

I.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Laporan penelitian ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang penelitian, rumusan permasalahan, tujuan khusus dan target luaran, manfaat penelitian, urgensi penelitian serta sistematika pembahasan.

BAB 2: STUDI PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai road map penelitian dari peneliti serta hasil studi kepustakaan mengenai pengolahan material bambu sebagai elemen struktural lengkung.

BAB 3: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai metode penelitian yang digunakan, objek studi penelitian, kerangka pemikiran, teknik pengumpulan data, teknik analisis, tahapan penelitian, jadwal penelitian dan kontribusi penelitian.

BAB 4 : APLIKASI BAMBU BILAH IKAT DALAM FUNGSI MEKANIKA DAN FUNGSI FORMAL SPASIAL

Bab ini merupakan hasil dan pembahasan penelitian tahap 1 yang menggunakan metode deskriptif – kualitatif yang membahas objek penelitian dalam aspek arsitektural ditinjau dari fungsi formal spasialnya dan juga aspek strukturalnya yang ditinjau dari fungsi mekanikanya.

BAB 5 : KUAT TEKAN BAMBU BILAH IKAT

Bab ini merupakan hasil dan pembahasan penelitian tahap 2 yang menggunakan metode experimental – kuantitatif yang menguji kekuatan tekan bambu bilah ikat dengan variabel jenis bambu dan jarak ikatannya serta membandingkannya dengan kekuatan tekan bambu utuh.

BAB 6 : KESIMPULAN

Bab ini merupakan kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini serta saran bagi perancang dan penelitian lanjutan.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 ROAD MAP PENELITIAN

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian yang lebih besar, yaitu mengkaji struktur bambu untuk bangunan-bangunan organik dalam kaitannya dengan rancangan arsitektural. Penelitian ini sudah dilakukan sejak tahun 2013. Rancangan keseluruhan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bagan 2.1 Road Map Penelitian



Penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya:

1. Komparasi penggunaan material bambu dalam struktur 'form-active' dan 'semi-form-active' pada bangunan lengkung bentang lebar. (2013)
2. Estetika Struktur Bambu: Pearl Beach Lounge, Gili Trawangan (2014)

Publikasi-publikasi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya:

1. Penggunaan Bambu pada Struktur Rangka dan Struktur Permukaan Aktif pada Bangunan Organik dengan Bentuk Atap Bergelombang (2014)
2. *Promoting Sustainable Living through Contemporary Bamboo Architecture* (2014)

Publikasi-publikasi yang telah dilakukan oleh peneliti pada penelitian ini:

1. *Curved Bamboo Structural Elements* (2015)
2. *Application of Bundled Bamboo Split as Structural Elements in Pearl Beach Lounge, Gili Trawangan* (2015)

Karya-karya lain yang berkaitan dengan topic tersebut:

1. Juara 3 Instalasi seni: *Stairway to Heaven* – Lombok International Bamboo Architecture Festival (2013)
2. Pengabdian Masyarakat : Musholla Bambu di Desa Cibodas (2014)
3. Pengabdian Masyarakat : Bale Warga di Desa Sindang Pakuon, Cimanggung (2015)

2.2 STRUKTUR DALAM FUNGSI MEKANIKA DAN SPASIAL

Menurut Bjorn N. Sandaker dalam bukunya “On Span and Space : Exploring Structure in Architecture”, melalui terdapat 2 (dua) fungsi struktur yang harus dipenuhi agar dapat mencapai estetikanya, yaitu:

- (1) fungsi mekanika, dimana sebuah struktur memiliki fungsi utama sebagai penyalur beban, sangat berhubungan dengan konsep kekuatan, kekakuan dan kestabilan serta proses konstruksinya.
- (2) Fungsi spasial, dimana sebuah struktur selain berfungsi untuk menyalurkan beban, struktur juga berfungsi untuk membentuk ruang fisik arsitekturalnya.

2.3 BAMBU SEBAGAI ELEMEN STRUKTURAL

Dalam beberapa tahun belakangan ini, pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan diketahui semakin berkembang pesat. Hal ini disebabkan oleh keindahan tekstur bambu, serta kekuatan, kelenturan, dan kemampuan bambu untuk beradaptasi dengan kelembaban. Banyak pihak mengatakan bahwa bambu adalah bahan material masa depan yang akan menggantikan posisi kayu yang semakin lama semakin langka.

2.3.1 SIFAT MEKANIKA BAMBU

²Secara teoretis, sifat-sifat mekanika bambu (tabel 2.1) tergantung pada jenis bambu yang berkaitan dengan tumbuh-tumbuhan, umur bambu pada waktu penebangan, kelembaban (kadar air kesetimbangan) pada batang bambu, bagian batang bambu yang digunakan, serta letak dan jarak ruasnya masing-masing (bagian ruas kurang tahan terhadap gaya tekan dan lentur).

Tabel 2.1 Sifat Mekanika Bambu

Sumber : T.Gutu, A Study on the Mechanical Strength Properties of Bamboo to Enhance Its Diversification on Its Utilization (2013)

<i>Sifat-sifat Mekanika Bahan</i>	<i>Bambu</i>
Kekuatan tarik (N/mm ²)	148
Kekuatan tekan (N/mm ²)	62 - 93
Kekuatan geser (N/mm ²)	20
Kekuatan lentur (N/mm ²)	76 - 276
Modulus elastisitas (N/mm ²)	20000

2.3.2 JENIS-JENIS BAMBU DI INDONESIA UNTUK KONSTRUKSI

Ada banyak macam bambu, tetapi dari ratusan jenis itu, hanya empat macam saja yang sering digunakan dan dipasarkan sebagai bahan material konstruksi di Indonesia, yaitu bambu tali, bambu betung/petung, dan bambu wulung/hitam dengan karakteristiknya masing-masing (tabel 2.2).

² Heinz Frick, Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta, hlm. 5-7

Tabel 2.2 Tabel Perbandingan Karakteristik Jenis Bambu untuk Konstruksi

	<i>Bambu Tali/ Apus</i>	<i>Bambu Petung/ Gombong</i>	<i>Bambu Duril/ Ori</i>	<i>Bambu Wulung</i>
Nama Latin	<i>gigantochloa apus</i>	<i>dendrocalamus asper</i>	<i>bambusa blumeana</i>	<i>gigantochloa verticillata</i>
Karakteristik	Sangat liat	Sangat kuat	Kuat dan besar	Tidak liat
Jarak Ruas	panjang	pendek	pendek	panjang
Diameter	40 – 80 mm	80 – 130 mm	75 – 100 mm	40 -100 mm
Panjang Batang	6 – 13 m	10 – 20 m	9 – 18 m	7 – 18 m

2.3.3 BAMBU LENGKUNG³

Berdasarkan Klaus Dunkelberg, terdapat 2 metode untuk melengkungkan bambu, yaitu : *hot bending method* (metode panas) dan *cold bending method* (metode dingin). Pada metode yang pertama, *hot bending method*, terdapat 2 cara untuk melengkungkannya, yaitu *immersion technique* (perendaman) dan *combustion technique* (pembakaran). Sedangkan teknik melukai bambu (*slashing bamboo*) dan teknik pengikatan (*bundling bamboo*) adalah teknik yang terdapat pada metode yang lain, *cold bending method*. Setiap teknik memiliki keuntungan dan kerugian.

Hot Bending Method

Ketika dipanaskan (dengan suhu diatas 150°C), bambu akan berubah menjadi lunak dan mudah dibentuk. Perubahan bentuk bisa secara paralel, diagonal, maupun transversal terhadap arah serat. Setelah didinginkan, bambu akan mempertahankan bentuk lengkungnya. Metode pemanasan ini dapat digunakan untuk melengkungkan bambu melebihi batas normal bambu tersebut dapat melengkung. Untuk mencapai temperature yang dibutuhkan, terdapat 2 cara, yaitu *immersion technique*, dengan merendam dalam air suam-suam kuku atau *combustion technique*, dengan pembakaran (Gambar 2.1).



Gambar 0.1 Hot Bending Method: Combustion Technique

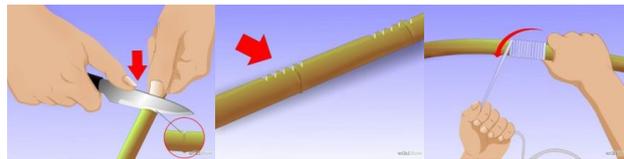
sumber : whisperingwindsbamboo.wordpress.com/2010/03/12/bending-bamboo

Cold Bending Method

Menerapkan *hot bending method* untuk melengkungkan bambu membutuhkan peralatan dan juga waktu yang cukup panjang. Ada 2 cara untuk melengkungkan bambu pada *cold bending method*, yaitu

³ Sumber : Klaus Dunkelberg, *Bamboo as Building Material*, Karl Kramer Verlag Stuttgart, Jerman, 2000, hlm. 256 (diterjemahkan)

(1) *slasing bamboo* (Gambar 2.2), dengan cara menyayat bambu pada sebagian daging bambunya dengan bentuk V, waktu yang diperlukan untuk proses ini sangat cepat; (2) *bundling bamboo* (Gambar 2.3), dengan membelah bambu menjadi bilah bambu kemudian dilengkungkan dan disatukan dengan cara diikat atau dilem, dengan menggunakan metode ini, panjang dan diameter bambu yang dilengkungkan menjadi bervariasi.



Gambar 0.2 Cold Bending Method: Slashing Technique

sumber: www.wikihow.com/Bend-Bamboo

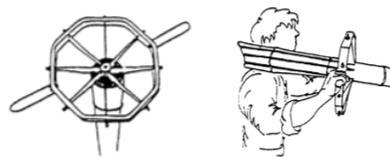


Gambar 0.3 Cold Bending Method: Bundling Technique

sumber: dokumentasi pribadi

2.3.4 BAMBU BILAH⁴

Secara natural, bambu mudah terbelah jika terkena gaya searah serat. Oleh karena itu, proses membelah bambu menjadi bilah bambu lebih mudah dibandingkan dengan memotong menggunakan gergaji. Selain itu, dengan menggunakan gergaji akan lebih banyak bahan yang terbuang menjadi serbuk. Bambu dapat dibelah menjadi dua, empat, atau delapan segmen. Peralatan yang digunakan tergantung dari diameter bambu yang akan dibelah. Bambu dengan diameter besar harus menggunakan peralatan khusus (Gambar 2.4).



Gambar 0.4 Alat Pembelah Bambu

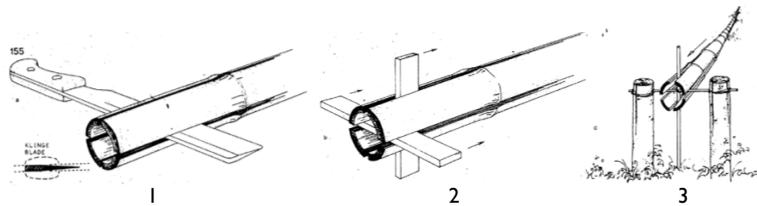
Sumber : Klaus Dunkelberg, IL 31 Bambus Bamboo

Berikut ini akan dipaparkan mengenai proses membelah bambu menjadi bilah bambu:

- a. Pertama, bambu diiris menjadi dua, empat, atau delapan bagian searah serat dengan menggunakan pisau. (Gambar 2.5-1)
- b. Kemudian, letakkan batang kayu pada bagian bambu yang telah dibelah kemudian geser batang kayu tersebut menerus secara aksial hingga seluruh batang bambu terbelah menjadi bilah-bilah bambu. (Gambar 2.5-2)

⁴ Sumber : Klaus Dunkelberg, *Bamboo as Building Material*, Karl Kramer Verlag Stuttgart, Jerman, 2000, hlm. 256 (diterjemahkan)

c. Batang kayu bisa digantikan dengan batang baja. (Gambar 2.5-3)



Gambar 0.5 Proses Membuat Bilah Bambu

Sumber : Klaus Dunkelberg, IL 31 Bambus Bamboo

2.3.5 **ELEMEN LENGKUNG DARI BATANG TANAMAN (VEGETAL RODS)**⁵
 Material yang lentur dan tidak kaku, seperti sedotan, bambu, cabang tanaman, dll. dibuat menjadi satu ikatan agar dapat menjadi struktur bangunan yang menahan beban. Menggabungkan batang-batang yang tipis menjadi satu ikatan seperti pada gambar, bentuk busur yang dihasilkan bisa bervariasi (Gambar 2.6)



Gambar 0.6 Batang yang Digabung Menjadi Satu Ikatan untuk Membentuk Elemen Lengkung

Sumber : Klaus Dunkelberg, IL 31 Bambus Bamboo

Ikatan batang ini cocok digunakan sebagai struktur jembatan, cangkang setengah tabung, dan kubah karena ikatan batang dapat dibuat sesuai dengan bentuk lengkung yang diinginkan.

2.4 SISTEM STRUKTUR

2.4.1 SISTEM STRUKTUR BUSUR

Busur merupakan struktur yang dirancang untuk mendukung beban vertikal, khususnya tekan aksial. Memanfaatkan bentuk *curvilinear* (lengkung) untuk mengubah gaya vertikal dari beban yang ditahan melalui bentuk tersebut, dan menyebarkan secara merata.⁶ Busur sendiri terdiri atas elemen garis yang membentang diantara dua titik tumpuan.

Berikut adalah jenis-jenis dari struktur Busur berdasarkan kondisi tumpuannya. Busur dua sendi lebih sering digunakan karena jenis struktur ini menggabungkan keuntungan dari Busur tiga sendi dan Busur jepit, tanpa menggabungkan kerugiannya (table 2.3)

Pada struktur Busur, seluruh elemen dimungkinkan untuk hanya menerima gaya tekan, tanpa adanya gaya tarik. Bentuk dari struktur Busur dapat diperoleh melalui studi yang dilakukan melalui pembebanan pada suatu kabel.⁷

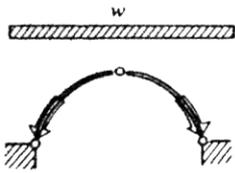
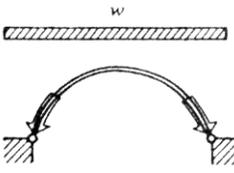
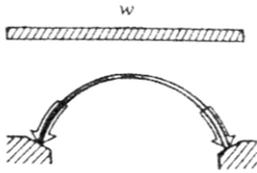
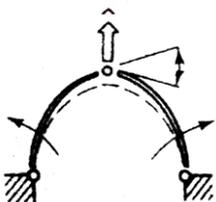
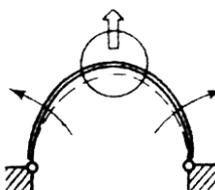
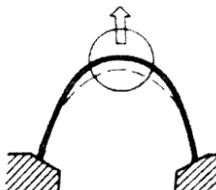
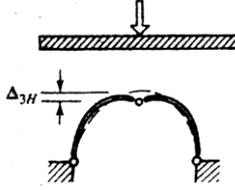
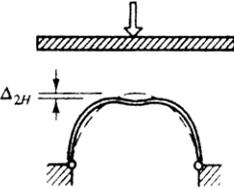
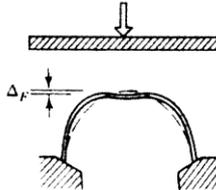
⁵ Sumber : IL team, The Use of Vegetal Rods for Arches, Vaults, Domes, and Shells, Karl Kramer Verlag Stuttgart, Jerman, 2000, hlm. 314 (diterjemahkan dan dirangkum)

⁶ Diterjemahkan dari Ching, Francis D.K. (2009). *Building Structures Illustrated*. John Wiley & Sons: New Jersey. hal. 232

⁷ Diterjemahkan dari Ching, Francis D.K. 2009. *Building Structures Illustrated*. John Wiley & Sons: New Jersey. hal. 232

Tabel 2.3 Pengaruh berbagai Kondisi Tumpuan pada Busur

Sumber : Schodek, Daniel. Struktur (1999)

Busur Tiga Sendi	Busur Dua Sendi	Busur Jepit	Pengaruh
 <p>Gaya-gaya utama</p>	 <p>Gaya-gaya utama</p>	 <p>Gaya-gaya utama</p>	<p>Apabila setiap struktur dibentuk <i>funicular</i>, maka gaya internal utama yang timbul pada semua struktur akan sama</p>
<p>Relatif tidak terpengaruh</p>	<p>Struktur berputar sebagai satu kesatuan, pada pondasi terdapat reaksi horizontal yang menimbulkan momen pada puncak</p>	<p>Tidak adanya sendi mengakibatkan momen lentur yang relatif besar pada puncak Busur</p>	<p>Turunnya tumpuan. Busur tiga sendi tidak terpengaruh seperti pada Busur jepit</p>
 <p>Sendi memungkinkan terjadinya rotasi relatif antar elemen sehingga mengurangi tegangan akibat muai susut</p>	 <p>Adanya sendi pada tumpuan memungkinkan rotasi pada dua sendi dan mengurangi efek temperatur</p>	 <p>Karena tidak ada mekanisme yang dapat mengurangi momen, maka momen lentur yang timbul relatif besar</p>	<p>Muai dan susut karena perubahan temperatur sangat berpengaruh pada Busur jepit</p>
 <p>Adanya sendi mengurangi kekakuan dan defleksi yang terjadi</p>	 <p>Busur dua sendi lebih kaku daripada Busur tiga sendi, tapi kurang kaku dibandingkan dengan jepit</p>	 <p>Busur kaku adalah yang paling kaku sehingga defleksinya paling kecil</p>	<p>Kekakuan. Untuk beban dan struktur Busur yang sama dalam segala hal, kecuali tumpuannya, berlaku: $\Delta_F < \Delta_{2H} < \Delta_{3H}$</p>

2.4.2 SISTEM STRUKTUR CANGKANG DENGAN BENTUK BOLA

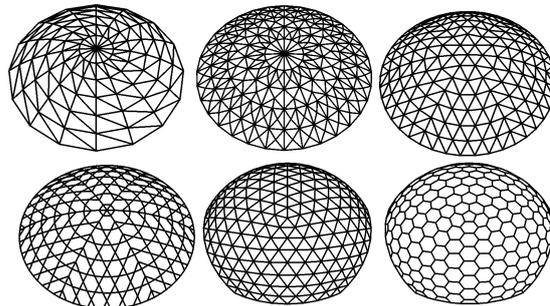
Cangkang adalah bentuk struktural tiga dimensi yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan lengkung. Permukaan cangkang adalah permukaan yang berasal dari kurva yang diputar terhadap suatu sumbu. Salah satu bentuknya adalah kubah. Pada cangkang berbentuk bola, perilaku dalam menyalurkan bebannya seperti struktur plat dua arah. Terdapat 2 gaya yang bekerja, yaitu gaya *meridional* dan gaya *hoop*. Gaya *meridional* pada cangkang bola bekerja seperti struktur busur, sedangkan gaya *hoop* ini gaya yang tegak lurus dengan gaya *meridional*. Gaya *meridional* pada cangkang yang mengalami beban vertical adalah gaya tekan, sedangkan gaya *hoop* dapat berupa gaya tekan ataupun tarik, tergantung letaknya (Gambar 2.7).



Gambar 0.7 Gaya Meridional dan Hoop
 Sumber : Schodek, Daniel. Struktur (1999)

2.4.3 SISTEM SPACE FRAME SINGLE LAYER⁸

Struktur *space frame* merupakan struktur rangka batang multi planar yang menyebar ke segala arah (tiga dimensi). *Space frame* dapat berupa *double layer* (identik dengan plat beton bertulang dan *waffle slab*) dan *single layer* (biasa berbentuk *dome* dan mirip dengan cangkang)(Gambar 2.8). Struktur *space frame* sesuai untuk memikul beban merata dan gaya geser atau gaya lintang di dekat kolom dan batang-batang sangat besar, sehingga diperlukan struktur atau perlakuan khusus. Untuk memperkecil gaya geser pada tumpuan ada beberapa cara yang dapat digunakan, yaitu memperbesar dimensi batang-batang, memperbanyak jumlah batang, dan memperbanyak titik tumpuan.



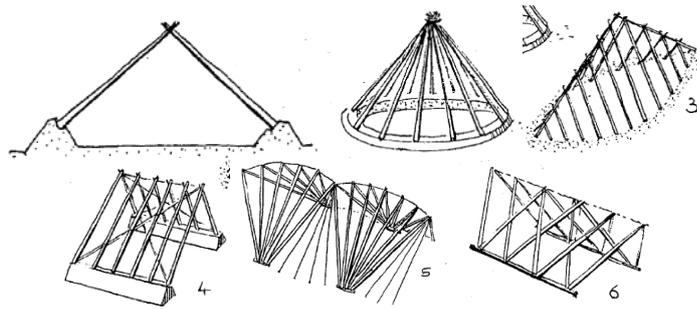
Gambar 0.8 Space Frame Single Layer pada Bentuk Bola
 Sumber : Schodek, Daniel. Struktur (1999)

2.4.4 SISTEM STRUKTUR RUSUK / RAFTER ROOF⁹

Atap usuk merupakan konstruksi tanpa kuda-kuda dan dapat dibuat dari bahan bangunan kayu maupun bambu. Kemiringan atap hendaknya $> 30^\circ$. Atap terbentuk dari garis-garis yang disambungkan berpasangan dan disusun secara paralel satu dengan yang lainnya. Atap seperti ini harus menggunakan tiang diagonal sebagai pengaku. Efisiensi penggunaan sistem atap seperti ini dapat dicapai ketika pasangan usuk saling bersandar satu dengan yang lain dan membentuk ruang sistem ruang segitiga. Struktur ini merupakan struktur yang sangat kuno. Batang akan mengalami tekan dan lentur. Struktur ini akan stabil bila dirancang terpusat, atau ditambahkan batang diagonal untuk penyusunan linear (Gambar 2.9).

⁸ Sumber : Diktat Kuliah Struktur dan Konstruksi Bentang Besar (ARS-242) Arsitektur UNPAR

⁹ Heinz Frick, Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta, hlm. 274

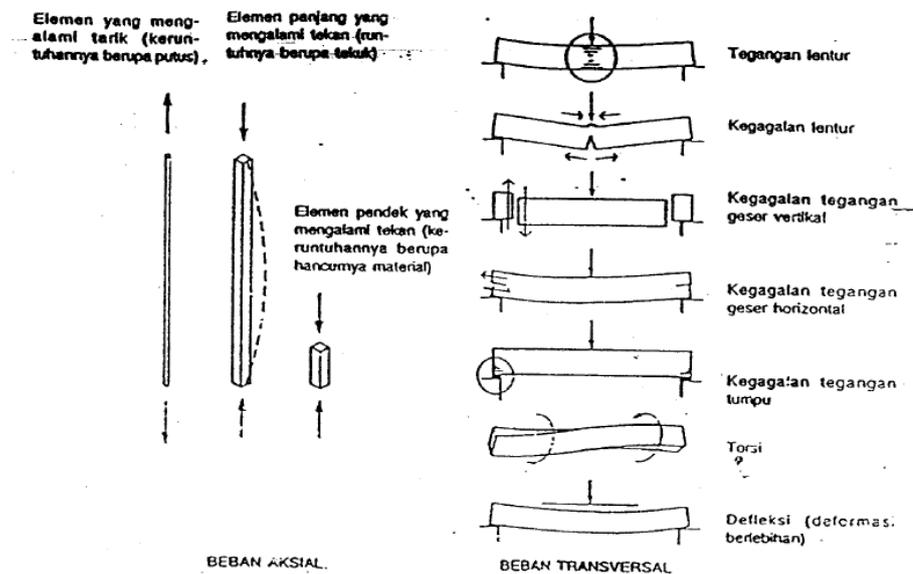


Gambar 0.9 Rafter Roof / Atap Kasau
 Sumber : Klaus Dunkelberg, IL 31 Bambus Bamboo

2.5 PRINSIP STRUKTUR

2.5.1 PENYALURAN BEBAN AKSIAL DAN TRANVERSAL¹⁰

Perletakan beban dan letak pada tumpuan akan mempengaruhi penyaluran bebannya. Jika beban diletakan searah dengan elemen struktur pendukungnya, maka penyaluran beban akan terjadi secara aksial. Namun jika beban diletakan tegak lurus terhadap elemen struktur pendukungnya dan memiliki jarak terhadap tumpuannya, maka penyaluran beban akan terjadi secara transversal. (Gambar 2.10)



Gambar 0.10 Aksial dan Transversal
 Sumber : Schodek, Daniel. Struktur (1999)

Pada penyaluran beban secara aksial, gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur adalah gaya tekan murni atau gaya tarik murni. Namun, pada penyaluran beban secara transversal, terdapat gaya momen dan geser pada elemen struktur.

¹⁰ Schodek. Structure

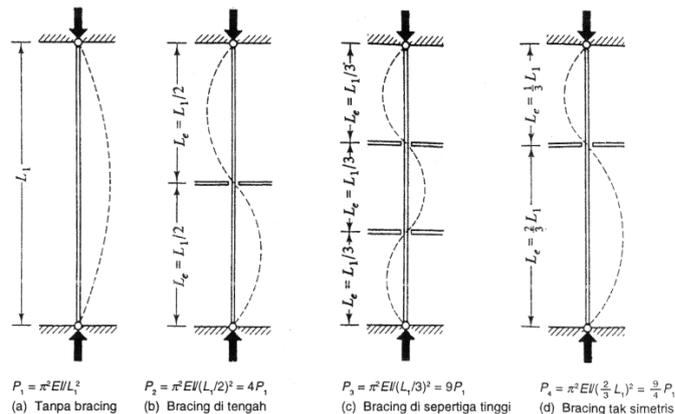
Penyaluran Beban Aksial

Elemen struktural yang menyalurkan beban secara aksial tekan pada umumnya berbentuk vertical dan tegak lurus dengan tanah agar dapat menyalurkan beban secara efektif. Deformnasi yang dapat terjadi pada elemen struktural yang menyalurkan beban aksial tekan adalah bahaya tekuk akan dipengaruhi oleh jenis tumpuannya (tabel 2.4)

Tabel 2.4 Pengaruh Tumpuan terhadap Defleksi akibat tekuk
Sumber : Schodek, Daniel. Struktur (1999)

Kedua ujung disendi	Kedua ujung dijepit	Satu ujung jepit, ujung lain disendi	Satu ujung, dijepit ujung lain bebas
<p>Panjang aktual: A Panjang efektif: $L_e = 1,0L$</p>	<p>Panjang aktual: B Panjang efektif: $L_e = 0,50L$ Titik belok</p>	<p>Panjang aktual: C Panjang efektif: $L_e = 0,707L$ Titik belok</p>	<p>Panjang aktual: D Panjang efektif: $L_e = 2,0L$</p>
$k = 1,0$	$k = 0,50$	$k = 0,7$	$k = 2,0$
$P = \pi^2 EI L^2$	$P = \pi^2 EI (\frac{1}{2} L)^2 = 4\pi^2 EI L^2$	$P = \pi^2 EI (0,707L)^2 = 2\pi^2 EI L^2$	$P = \pi^2 EI (2L)^2 = \frac{1}{4} \pi^2 EI L^2$

Permasalahan utama dari bambu sebagai kolom panjang adalah efek tekuk euler akibat beban gravitasional. Perilaku tekuk tersebut ditentukan oleh kondisi hubungan antar ujung-ujung elemen struktural. (Gambar 2.11)

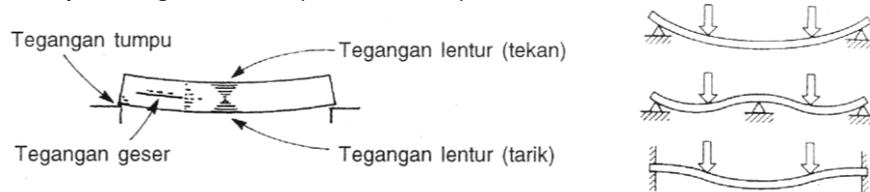


Gambar 0.11 Defleksi yang diakibatkan Beban Tekuk
Sumber : Schodek, Daniel. Struktur (1999)

Penyaluran Beban Transversal

Elemen struktural horizontal berfungsi untuk menyalurkan beban secara transversal ke elemen struktural lainnya. Apabila suatu elemen struktur horizontal tersebut menerima beban yang berlebihan, maka dapat terjadi

deformasi akibat momen lentur pada balok tersebut. Deformasi tersebut akan menyebabkan regangan yang harus ditahan oleh balok, untuk menjamin stabilitas dari struktur suatu bangunan. Regangan pada balok diakibatkan oleh adanya tegangan tekan pada bagian atas serta tegangan tarik pada bagian bawah (Gambar 2.12)



Gambar 0.12 Perilaku Elemen Struktural Horizontal

Sumber : Schodek, Daniel. Struktur (1999)

2.5.2 GAYA YANG TERJADI PADA ELEMEN STRUKTURAL¹¹

Gaya Tarik

Gaya tarik mempunyai kecenderungan untuk menarik elemen hingga putus. Kekuatan elemen tarik tergantung pada luas penampang elemen dan material yang digunakan. Kekuatan elemen tarik pada umumnya tergantung pada panjangnya.

Gaya Tekan

Gaya tekan cenderung untuk menyebabkan hancur atau tekuk pada elemen. Elemen yang pendek cenderung hancur dan mempunyai kekuatan relatif setara dengan kekuatan elemen tersebut apabila mengalami tarik. Sebaliknya, kapasitas pikul beban elemen tekan panjang semakin kecil untuk elemen yang semakin panjang. Elemen tekan panjang dapat menjadi tidak stabil dan dapat secara tiba-tiba menekuk pada taraf beban kritis. Hal ini yang disebut tekuk (buckling). Karena adanya tekuk ini, elemen tekan panjang tidak dapat memikul beban yang sangat besar.

Gaya Lentur (Momen)

Lentur adalah keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen (biasanya elemen tersebut adalah balok) sebagai akibat dari adanya beban transversal. Aksi lentur menyebabkan serat-serat pada satu muka elemen memanjang, mengalami tarik, dan serat pada muka lainnya mengalami tekan. Tegangan tarik dan tekan ini bekerja dalam arah tegak lurus permukaan penampang.

Gaya Geser

Geser adalah keadaan gaya yang berkaitan dengan aksi gaya-gaya berlawanan arah yang menyebabkan satu bagian struktur tergelincir terhadap bagian didekatnya. Tegangan akan timbul (disebut tegangan geser) dalam arah tangensial permukaan gelincir.

Gaya Torsi

Torsi adalah puntir. Baik tegangan tarik maupun tekan terjadi pada elemen yang mengalami puntir.

¹¹ Sumber : Daniel L. Schodek, Struktur, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1999, hlm. 30

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 JENIS PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan 2 metode, yaitu:

- (3) metode deskriptif¹² - kualitatif. Penggunaan metode ini pada penelitian bertujuan untuk mendeskripsikan, mengidentifikasi permasalahan, membandingkan dan mengevaluasi aplikasi bambu bilah ikat pada objek studi dalam fungsi mekanika dan fungsi formal spasialnya secara kualitatif
- (4) metode experimental¹³ - kuantitatif. Penggunaan metode ini pada penelitian bertujuan untuk menguji kekuatan tekan dari bambu bilah ikat secara kualitatif dengan 2 faktor pengujian, yaitu: jenis bambu dan jarak ikatan serta membandingkannya dengan bambu utuh.

3.2 OBJEK PENELITIAN

Objek penelitian ditentukan berdasarkan kriteria:

- (1) bentuk bangunan lengkung
- (2) penggunaan bambu bilah ikat sebagai elemen struktur

Dari kriteria tersebut, maka ditetapkan 2 buah objek penelitian, yaitu :

- (1) Pearl Beach Lounge, Gili Trawangan, NTB. Bangunan ini dirancang oleh arsitek Heinz Alberti (Gambar 3.1-1)
- (2) Musholla Bambu, Desa Cibodas, Jawa Barat. Bangunan ini dirancang dan dibangun oleh Tim Dosen dan Mahasiswa Program Studi Arsitektur UNPAR (Gambar 3.1-2)



Gambar 0.1 Objek Penelitian:
Pearl Beach Lounge di Gili Trawangan (1) dan Musholla Bambu di Cibodas (2)

sumber : www.pearlbeachlounge.com, dokumentasi peneliti

¹² Metode penelitian deskriptif bertujuan untuk mengumpulkan informasi aktual secara rinci yang melukiskan gejala yang ada, mengidentifikasi masalah atau memeriksa kondisi dan praktek-praktek yang berlaku, membuat perbandingan atau evaluasi dan menentukan apa yang dilakukan orang lain dalam menghadapi masalah yang sama dan belajar dari pengalaman mereka untuk menetapkan rencana dan keputusan pada waktu yang akan datang. (M. Iqbal Hasan, 2002. *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Penerbit Ghalia Indonesia : Jakarta)

¹³ Metode eksperimental merupakan metode penelitian yang memungkinkan peneliti memanipulasi variabel dan meneliti akibat-akibatnya. Pada metode ini variabel-variabel dikontrol sedemikian rupa, sehingga variabel luar yang mungkin mempengaruhi dapat dihilangkan. Metode eksperimental bertujuan untuk mencari hubungan sebab akibat dengan memanipulasikan satu atau lebih variabel, pada satu atau lebih kelompok eksperimental dan membandingkan hasilnya dengan kelompok kontrol yang tidak mengalami manipulasi. (M. Iqbal Hasan, 2002. *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Penerbit Ghalia Indonesia : Jakarta)

3.3 KERANGKA PEMIKIRAN

Untuk mengkaji aplikasi bambu bilah ikat sebagai elemen struktur, dalam penelitian ini akan dibagi menjadi 2 bagian penelitian:

1. Bagian 1 adalah mengkaji aplikasi bambu bilah ikat terhadap fungsi mekanika dan fungsi formal spasialnya
2. Bagian 2 adalah menguji laboratorium mengenai kekuatan tekan bambu bilah ikat.

Bagan 3.1 Kerangka Pemikiran



3.4 TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Mengacu kepada 2 bagian besar penelitian ini, maka data yang diperlukan dikategorikan menjadi 2, yaitu : data lapangan dan data uji

(1) Data lapangan

Data lapangan yang dimaksud disini adalah data-data yang berhubungan dengan objek penelitian. Data-data ini yang akan dipakai untuk menganalisa aplikasi bambu bilah ikat ini berdasarkan fungsi mekanikal dan fungsi formal spasialnya. Data-data yang diperlukan adalah:

- dokumen perancangan berupa gambar kerja atau pengukuran
- hasil observasi lapangan
- wawancara dengan stakeholder

(2) Data hasil pengujian laboratorium

Data uji didapat dari hasil pengujian kekuatan tekan model uji di laboratorium. Model uji akan dibuat berdasarkan varian dari bentuk bambu, yaitu bambu utuh dan bambu bilah ikat, dimana memiliki

- Jenis bambu : bambu tali dan bambu gombang
- Jarak ikatan : 25 cm dan 50 cm

Benda uji dibatasi oleh :

- Diameter benda uji : 8-10 cm
- Kadar air pada benda uji : 12-14%
- Umur panen bambu : > 3 tahun

3.5 TEKNIK ANALISIS DATA

Seperti telah disebutkan, bahwa penelitian ini terbagi atas 2 bagian, yaitu :

(1) Bagian 1.

Pada bagian 1 ini, akan mengkaji aplikasi bambu bilah ikat terhadap fungsi mekanika dan fungsi formal spasialnya dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Tahap 1 : Mendeskripsikan elemen struktural yang menggunakan bambu bilah ikat pada setiap objek penelitian menggunakan analisis kualitatif
 - i. Mengidentifikasi dan mengevaluasi fungsi mekanika elemen struktural tersebut
 - ii. Mengidentifikasi dan mengevaluasi fungsi formal spasial elemen struktural tersebut
- b. Tahap 2 : Membandingkan aplikasi bambu bilah ikat pada kedua objek studi menggunakan analisis kualitatif

(2) Bagian 2.

Pada bagian 2 ini, akan mencari kekuatan tekan bambu bilah ikat melalui uji laboratorium dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Tahap 1 : Pembuatan model uji dan pengujian tekan (tabel 3.1). Pada tahap ini akan dicari beban maksimal dan kuat tekan dari setiap model uji serta mencari rata-rata beban maksimal dan kuat tekan dari setiap tipe model uji dengan menggunakan analisis kuantitatif

Tabel 3.1 Tipe Model Uji

<i>Tipe</i>	<i>Jenis Bambu</i>	<i>Bentuk Bambu</i>	<i>Jumlah model uji</i>
A	Bambu Tali	Utuh	3 buah
B	Bambu Tali	Bilah Ikat per 25 cm	5 buah
C	Bambu Tali	Bilah Ikat per 50 cm	5 buah
D	Bambu Gombong	Utuh	3 buah
E	Bambu Gombong	Bilah Ikat per 25 cm	5 buah
F	Bambu Gombong	Bilah Ikat per 50 cm	5 buah

- b. Tahap 2 : Membandingkan hasil uji laboratorium untuk setiap tipe model uji dengan analisis kuantitatif.

3.6 TAHAPAN PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan serangkaian pendahuluan dan persiapan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

(1) Tahap awal melakukan studi literatur terdiri dari :

1. Menyusun pengetahuan mengenai posisi riset yang akan dilakukan
2. Merumuskan permasalahan
3. Menyusun statement of the art
4. Menyusun pengetahuan mengenai teknologi konstruksi bambu bilah ikat.
5. Menyusun pengetahuan mengenai karakteristik dari material bambu.

- (2) Penelitian tahap 1:
 1. Mengumpulkan data melalui observasi lapangan dan wawancara dengan stakeholder terkait.
 2. Analisis tahap 1 : mendeskripsikan elemen struktural yang menggunakan bambu bilah ikat pada setiap objek penelitian
 3. Analisis tahap 2 : membandingkan aplikasi bambu bilah ikat pada kedua objek studi menggunakan analisis kualitatif
 4. Pengambilan kesimpulan sementara : fungsi mekanika dan fungsi formal spasial dari bambu bilah ikat

- (3) Penelitian tahap 2:
 1. Pembuatan model uji
 2. Pengujian laboratorium
 3. Analisis tahap 1:
 - a. mencari beban maksimal setiap model uji
 - b. mencari kuat tekan setiap model uji
 - c. mencari rata-rata beban maksimal setiap tipe model uji
 - d. mencari rata-rata kuat tekan setiap tipe model uji
 4. Analisis tahap 2 : Membandingkan hasil uji laboratorium untuk setiap tipe model uji.
 5. Pengambilan kesimpulan sementara : kemampuan tekan bambu bilah ikat.

- (4) Penarikan kesimpulan
- (5) Finalisasi laporan

3.7 JADWAL PENELITIAN

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

Tahapan Penelitian	Bulan										
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
Tahap Awal :											
- Penyusunan proposal											
- Studi Literatur											
Penelitian Tahap 1											
- Pengumpulan data											
- Analisis dan penarikan kesimpulan											
Penelitian Tahap 2											
- Pembuatan sampel uji											
- Pengujian											
- Analisis dan penarikan kesimpulan											
Penarikan Kesimpulan											
Finalisasi laporan											

3.8 KONTRIBUSI PENELITIAN

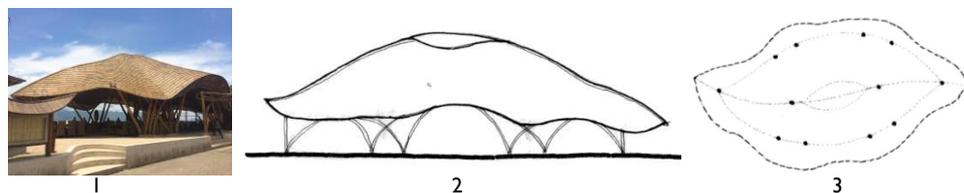
Penelitian ini berkontribusi untuk meningkatkan wawasan bagi dunia akademik mengenai konstruksi bambu bilah ikat dan memberikan masukan praktisi mengenai prinsip-prinsip perancangan bangunan bambu dengan menggunakan bambu bilah.

BAB 4

APLIKASI BAMBU BILAH IKAT DALAM FUNGSI MEKANIKA DAN FUNGSI FORMAL SPASIAL

4.1 APLIKASI BAMBU BILAH IKAT SEBAGAI ELEMEN STRUKTURAL PADA PEARL BEACH LOUNGE, GILI TRAWANGAN, NTB.

Bangunan Pearl Beach Lounge terletak di Pulau Gili Trawangan, Lombok, Nusa Tenggara Barat yang berfungsi sebagai restaurant dan bar dengan luas +/- 170 m² (Gambar 4.1). Bangunan ini dibangun pada tahun 2012 dan dirancang oleh Heinz Alberti yang merupakan seorang arsitek yang berasal dari Jerman. Bangunan ini merupakan bangunan bambu yang mengaplikasikan bambu bilah ikat sebagai elemen strukturnya untuk dapat menghasilkan bentuk organik.



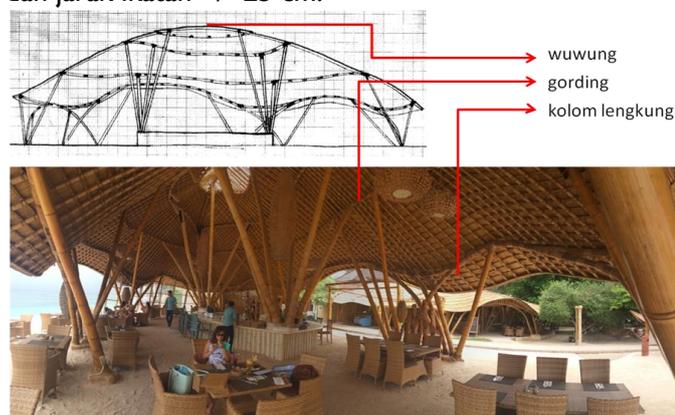
Gambar 4.1 Pearl Beach Lounge, Gili Trawangan:
Foto (1), Tampak (2) dan Denah (3).

Sumber : Maurina, Anastasia. Estetika Struktur Bambu Pearl Beach Lounge (2014)

Prinsip sistem struktur pada bangunan ini adalah sistem struktur dengan elemen bidang lengkung bergelombang yang tersusun dari garis-garis lurus. Bidang lengkung bergelombang tersebut dibentuk melalui kelenturan gording dan wuwung yang terbuat dari bambu bilah ikat. Bidang bergelombang ini membantu sistem struktur secara keseluruhan sebagai pengaku. Prinsip struktur dasar dari bangunan ini serupa dengan sistem atap tradisional yang menggunakan sistem usuk (tanpa kuda-kuda) atau biasa disebut juga dengan *rafters roof*. Elemen struktural yang menggunakan bambu bilah ikat adalah (Gambar 4.2):

- kolom struktur lengkung: elemen lengkung tunggal dengan radius kelengkungan besar.
- gording : elemen lengkung multi radius
- wuwung : elemen lengkung tunggal dengan radius kelengkungan besar.

Bambu bilah ikat yang digunakan terbuat dari bambu gombang dengan diameter +/- 12 cm dan jarak ikatan +/- 25 cm.

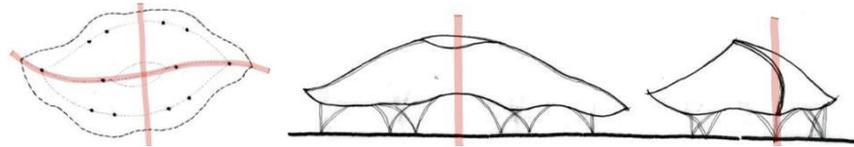


Gambar 4.2 Elemen Struktural yang Terbuat dari Bambu Bilah Ikat

4.1.1 ANALISIS FUNGSI FORMAL SPASIAL

Peran Bambu Bilah Ikat dalam Fungsi Formal dari Elemen Struktur

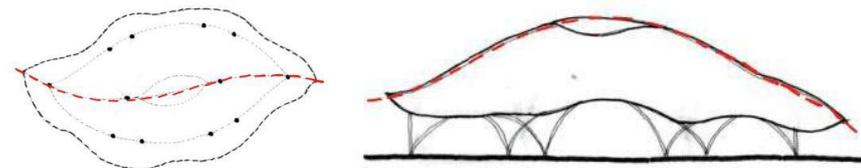
Bentuk bangunan Pearl Beach ini termasuk dalam bentuk organik yang merupakan analogi bentuk ombak. Bentuk atap yang berupa bidang lengkung dengan kelengkungan ganda multi radius memiliki peran utama dalam memberi bentuk organik.



Gambar 4.3 Simetri Asimetri

Sumber : Maurina, Anastasia. Estetika Struktur Bambu Pearl Beach Lounge (2014)

Bentuk bangunan ini merupakan bentuk simetri asimetri (Gambar 4.3). dengan bentuk sumbu lengkung dengan kelengkungan ganda, dengan garis punggung atap berbentuk lengkung tunggal - hiperbolik (Gambar 4.4). Dengan bentuk tersebut, maka semua elemen struktur tidak memiliki keteraturan dalam dimensi baik panjang dan juga radius



Gambar 4.4 Garis Sumbu

Sumber : Maurina, Anastasia. Estetika Struktur Bambu Pearl Beach Lounge (2014)

Bambu bilah ikat pada bangunan ini digunakan sebagai material pada elemen gording dan kolom lengkung. Elemen struktur tersebut membutuhkan kelenturan yang tinggi untuk mencapai tingkat kelengkungan multi radius yang tidak teratur seperti yang diharapkan oleh perancang. Bentuk tersebut tersebut sulit dicapai jika menggunakan bambu utuh, sehingga penggunaan bambu bilah ikat merupakan pilihan tepat untuk dapat menghasilkan bentuk organik yang diinginkan oleh perancang. Dengan bentuk yang asimetri ini, jika elemen struktur yang terbuat dari bilah bambu ini mengalami deformasi (lendut), tidak akan mengganggu bentuk organik bahkan mendukung bentuk organik yang diharapkan (gambar 4.5).



Gambar 4.5 Lendut yang Mendukung Bentuk Organik

Peran Bambu Bilah Ikat dalam Fungsi Spasial dari Elemen Struktur

Bidang atap memiliki elemen struktural yang diekspos, baik gording, kaso, reng, hingga penutup atap (Gambar 4.5-1). Elemen struktural tersebut dapat terlihat dari ruang bagian dalam bangunan. Cluster-cluster kolom penopang di area luar membentuk frame yang membingkai view laut yang ada di belakang bangunan (Gambar 4.5-2). Frame yang terbuat dari perpaduan garis lurus (bambu utuh) dan garis lengkung (bambu bilah ikat) menyebabkan frame-view yang terbentuk menjadi unik dan tidak kaku. Pemandangan ini menjadi latar belakang dari ruang dan aktivitas yang berlangsung di dalamnya, serta memberikan nilai estetika tambahan pada ruang dan bangunan Pearl Beach Lounge.



Gambar 4.5 Elemen Struktur Ekspose (1), Frame-View (2)

Sumber : Septiana, Michelina. Peranan Bambu Bilah Ikat Terkait dengan Bentuk, Ruang, Struktur dan Konstruksi pada Bangunan Pearl Beach Lounge (2015)

Bambu bilah ikat turut memberi peranan dalam memberikan tekstur yang kasar dan memberikan kesan informal (Gambar 4.6). Adanya perpaduan antara ikatan dan bambu-bambu bilah juga menambah kekhasan tekstur pada bangunan ini. Selain itu, warna bambu yang digunakan (kuning-kecoklatan) memberikan efek psikologis hangat, nyaman, leluasa, dan santai sesuai dengan efek yang diharapkan dari fungsi bangunan sebagai bar dan lounge (Gambar 4.7).



Gambar 4.6 Tekstur dari Bambu Bilah Ikat

Sumber : Septiana, Michelina. Peranan Bambu Bilah Ikat Terkait dengan Bentuk, Ruang, Struktur dan Konstruksi pada Bangunan Pearl Beach Lounge (2015)



Gambar 4.7 Warna dari Bambu Bilah Ikat

Sumber : Septiana, Michelina. Peranan Bambu Bilah Ikat Terkait dengan Bentuk, Ruang, Struktur dan Konstruksi pada Bangunan Pearl Beach Lounge (2015)

Dalam fungsi spasial, bambu bilah ikat yang memiliki karakteristik sangat lentur memberikan peranan dalam menghasilkan ruang yang organik, leluasa dan informal. Penggunaan bambu bilah ikat juga menghasilkan kesan tekstur kasar yang berkontribusi dalam menghasilkan ruang informal.

4.1.2 ANALISIS FUNGSI MEKANIKA

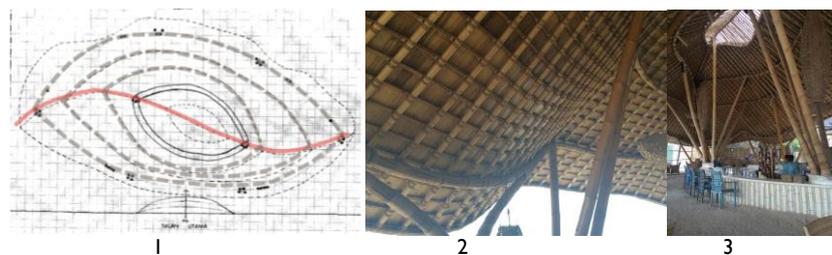
Konfigurasi Elemen Struktur

Kolom penopang berupa cluster kolom, masing-masing cluster terdiri dari 2 hingga 6 kolom (Gambar 4.8-1). Satu cluster ditandai dengan satu pondasi setempat. Cluster kolom tengah (Gambar 4.8-2) terdiri dari kolom lurus yang berfungsi untuk menyalurkan beban atap yang paling utama yang disalurkan melalui gording, sementara cluster kolom tepi (Gambar 4.8-3), yang terdiri dari kolom lurus dan lengkung, berfungsi sebagai penahan tepi penutup atap agar stabil dan tidak terguling.



Gambar 4.8 Konfigurasi Elemen Struktur: Kolom
Denah (1), Cluster Kolom Tengah (2), Cluster Kolom Tepi (3)
Sumber : Maurina, Anastasia. Estetika Struktur Bambu Pearl Beach Lounge (2014)

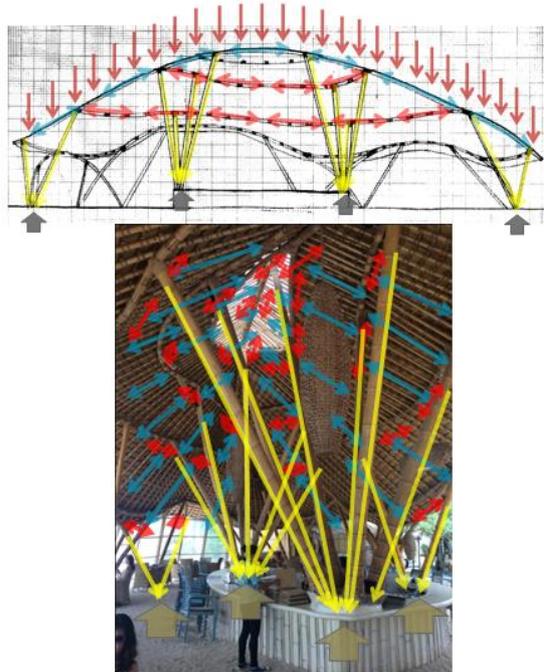
Gording terdiri dari bambu bilah ikat yang dihubungkan dengan balok wuwung (Gamabr 4.9-1). Tiap pertemuan gording dengan balok wuwung ditopang oleh satu kolom struktural. Untuk balok atap ke-2 dan ke-3 ada penambahan kolom penopang. Bidang atap terdiri dari paduan elemen lengkung yang terbentuk dari bambu bilah ikat setingkat gording pada hirarki 1, elemen lurus dari batang bambu utuh pada hirarki 2 setingkat dengan kaso, dan bambu bilah pada hirarki 3 setingkat dengan reng (Gambar 4.9-2). Penutup atap terbuat dari pelupuh bambu. Bidang atap ini yang berkontribusi memberi bentuk arsitekturalnya yang organik.



Gambar 4.9 Konfigurasi Elemen Struktur: Gording
Denah (1), Bidang atap : gording, kaso reng (2), Pola Gording (3)
Sumber : Septiana, Michelina. Peranan Bambu Bilah Ikat Terkait dengan Bentuk, Ruang, Struktur dan Konstruksi pada Bangunan Pearl Beach Lounge (2015)

Penyaluran Beban

Beban gravitasional yang diterima oleh bidang atap disalurkan secara transversal dengan sistem one way spanning. Dari bidang atap beban disalurkan menuju gording kemudian diteruskan secara transversal ke kolom penopang. Kolom penopang menyalurkan beban secara aksial tekan ke pondasi (Gambar 4.10). Pada bagian kolom lengkung, beban atap langsung disalurkan ke pondasi melalui kolom yang merupakan paduan dari bambu bilah pada bagian yang mengalami gaya transversal dan bambu utuh pada bagian yang mengalami gaya aksial tekan.



Gambar 4.10 Penyaluran Beban Gravitasi

Sumber : Septiana, Michelina. Peranan Bambu Bilah Ikat Terkait dengan Bentuk, Ruang, Struktur dan Konstruksi pada Bangunan Pearl Beach Lounge (2015)

Gaya pada Elemen Struktural yang Terbuat dari Bambu Bilah Ikat

Ada 2 cara penyaluran beban oleh elemen struktural yang terbuat dari bambu bilah ikat, yaitu : transversal dan *form active* – tekan (Bagan 4.1)

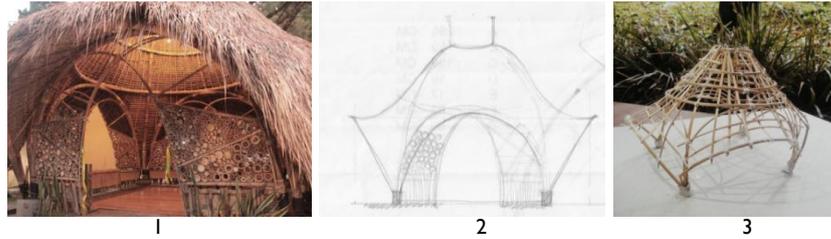
Bagan 4.1 Cara penyaluran beban dan gaya yang terjadi pada elemen struktural

<i>Elemen Struktural</i>	<i>Cara penyalurkan beban</i>	<i>Gaya yang terjadi</i>
Wuwung	transversal	Tekan dan tarik tidak sejajar serat
Gording	transversal	Tekan dan tarik tidak sejajar serat
Kolom Lengkung	<i>form active</i> – tekan	Tekan tidak sejajar serat

Penggunaan bambu utuh pada kolom lurus disebabkan oleh bentuk elemen yang lurus yang dapat diakomodasi dengan bambu utuh dan menyalurkan beban secara aksial tekan dimana bambu bilah ikat diduga tidak kuat tekan searah serat.

4.2 APLIKASI BAMBU BILAH IKAT SEBAGAI ELEMEN STRUKTURAL PADA MUSHOLLA BAMBU, DESA CIBODAS, JAWA BARAT

Musholla Bambu di Desa Cibodas (Gambar 4.11), Jawa Barat dengan luas +/- 20 m² merupakan fasilitas pendukung kegiatan peribadahan di kompleks P4S Tani Mandiri. Musholla ini dirancang dan dibangun pada tahun 2014 oleh tim pengabdian masyarakat program studi Arsitektur UNPAR yang terdiri dari dosen dan mahasiswa. Seluruh elemen struktural pada bangunan ini terbuat dari bambu bilah ikat untuk dapat menghasilkan bentuk busur dan lingkaran yang sulit dibentuk dari bambu utuh.



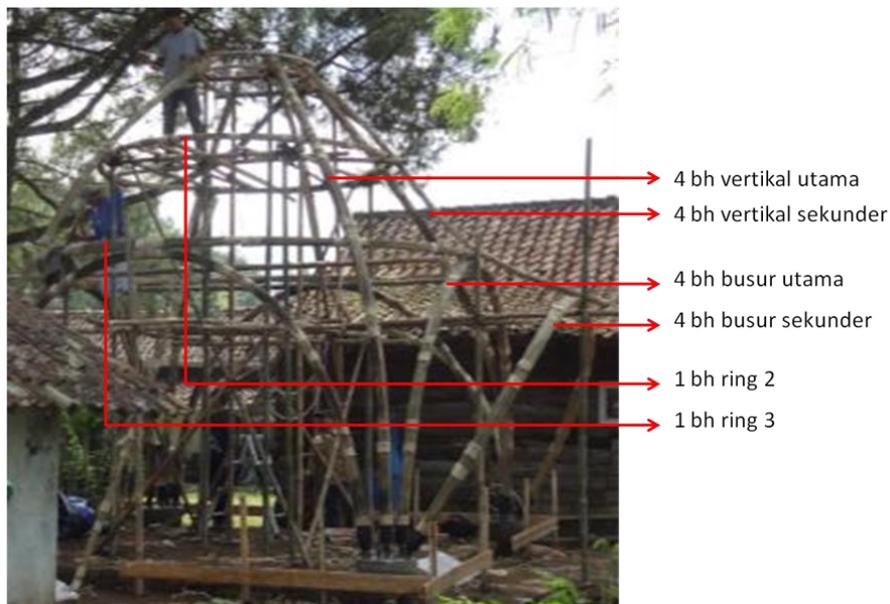
**Gambar 4.12 Musholla Bambu, Desa Cibodas, Jawa Barat:
Foto (1), Tampak (2) dan Maket Struktur (3).**

Sumber : Maurina, Anastasia. Surau Bambu: Design, Construction and Appreciation (2015)

Bangunan musholla ini merupakan bentuk transformatif dari bentuk geometrik persegi pada denah dan bentuk lingkaran pada atap sehingga menghasilkan bentuk atap lengkung dua arah berlawanan (hyperbolic paraboloid). Prinsip struktur pada bangunan ini merupakan struktur bidang yang terbuat dari garis-garis. Bidang atap merupakan susunan dari 3 ring yang setingkat dengan gording dan kaso-kaso, yang kemudian ditopang oleh struktur utama berupa busur utama dan kolom lengkung (vertikal) utama. Sedangkan pada bagian kanopi, ditopang oleh busur sekunder (miring) dan vertikal sekunder. Elemen struktural yang menggunakan bambu bilah ikat adalah (Gambar 4.12):

- Busur utama: elemen lengkung tunggal dengan radius kecil
- Busur sekunder : elemen lengkung tunggal dengan radius kecil
- Kolom lengkung (vertikal) utama : elemen lengkung tunggal dengan radius besar
- Vertikal sekunder : elemen lengkung ganda dengan multi radius
- Ring 2 (tengah) : elemen lengkung tunggal dengan radius kecil
- Ring 3 (bawah) : elemen lengkung tunggal dengan radius besar

Bambu bilah ikat yang digunakan terbuat dari bambu tali dengan diameter +/- 10 cm dan jarak ikatan +/- 80 cm.

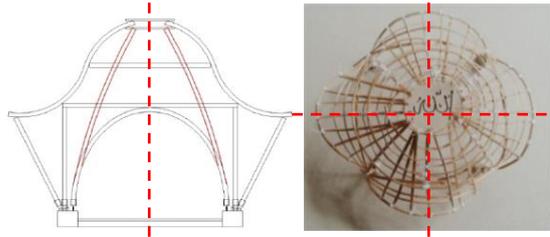


Gambar 4.12 Elemen Struktural yang Terbuat dari Bambu Bilah Ikat

4.2.1 ANALISIS FUNGSI FORMAL SPASIAL

Peran Bambu Bilah Ikat dalam Fungsi Formal dari Elemen Struktur

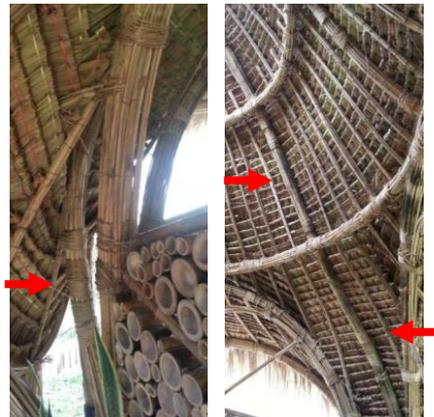
Bentuk bangunan Musholla Bambu ini termasuk dalam bentuk geometrik. Bentuk atap yang berupa bidang lengkung dengan kelengkungan ganda yang teratur membentuk sebuah gabungan 4 buah hyperbolic paraboloid. Bentuk bangunan ini merupakan bentuk simetri – terpusat (Gambar 4.13). Dengan bentuk tersebut, maka semua elemen struktur tidak memiliki keteraturan dalam dimensi baik panjang dan juga radius



Gambar 4.13 Simetri - Terpusat

Sumber : Maurina, Anastasia. Surau Bambu: Design, Construction and Appreciation (2015)

Setiap elemen struktur pada bangunan ini menuntut kelengkungan diluar batas kemampuan alami bambu, sehingga membutuhkan teknik untuk melengkungkan bambu. Pada bangunan ini teknik yang dipilih adalah bambu bilah ikat, agar bentuk yang diinginkan perancang dapat terfasilitasi. Dengan bentuk yang simetri-terpusat ini serta memiliki keteraturan dalam dimensi, jika ada elemen struktur yang terbuat dari bilah bambu ini mengalami deformasi, maka akan mengganggu bentuk tersebut (gambar 4.5).



Gambar 4.14 Deformasi yang mengganggu bentuk

Peran Bambu Bilah Ikat dalam Fungsi Spasial dari Elemen Struktur

Bidang atap memiliki elemen struktural yang diekspos, baik busur, kolom lengkung, ring, kaso, hingga penutup atap (Gambar 4.15). Elemen struktural tersebut dapat terlihat dari ruang bagian dalam bangunan. Konfigurasi elemen struktur yang terbuat dari bambu bilah ikat serta ikatan pada bambu bilah tersebut akan membentuk suasana ruang dalamnya.



Gambar 4.15 Ruang Dalam Musholla Bambu

Sumber : Maurina, Anastasia. Surau Bambu: Design, Construction and Appreciation (2015)

Bambu bilah ikat turut memberi peranan dalam memberikan tekstur yang kasar dan memberikan kesan alami (Gambar 4.16). Selain itu, warna bambu yang digunakan (kuning-kecoklatan) memberikan efek psikologis hangat, dan nyaman sehingga menjaga kekyusukan untuk beribadah.



Gambar 4.16 Efek warna material dalam aktifitas beribadah

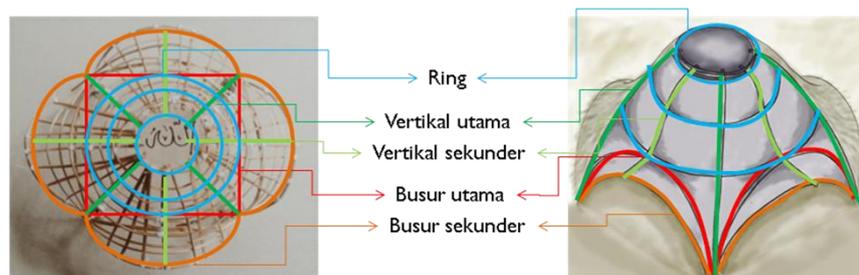
Sumber : Maurina, Anastasia. Surau Bambu: Design, Construction and Appreciation (2015)

Dalam fungsi spasial, bambu bilah ikat yang memiliki karakteristik sangat lentur dapat memberikan peranan dalam menghasilkan ruang. Namun sifat lenturnya dapat membuat elemen deformasi yang akan merubah bentuk yang tadinya teratur menjadi tidak teratur. Warna dan tekstur berkontribusi dalam menghasilkan kesan alami sehingga mendukung suasana khusyuk untuk beribadah.

4.2.2 ANALISIS FUNGSI MEKANIKA

Konfigurasi Elemen Struktur

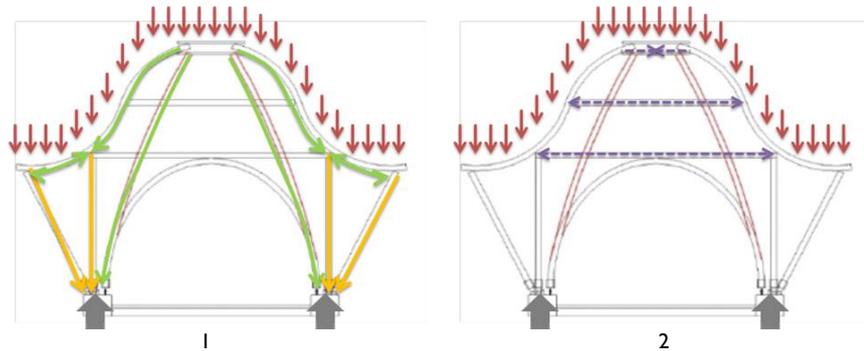
Pada musola ini terdapat 8 buah busur yang terdiri dari 4 buah busur utama dan 4 buah busur sekunder yang ada di keempat sisi bangunan. Selain itu terdapat 1 buah ring yang menghubungkan puncak busur utama dan juga kolom lengkung (vertikal) utama serta vertikal sekunder dan 2 buah ring yang menghubungkan elemen vertikal utama dan vertikal sekunder. (Gambar 4.17)



Gambar 4.17 Konfigurasi Elemen Struktur: Busur, Elemen Vertikal dan Ring

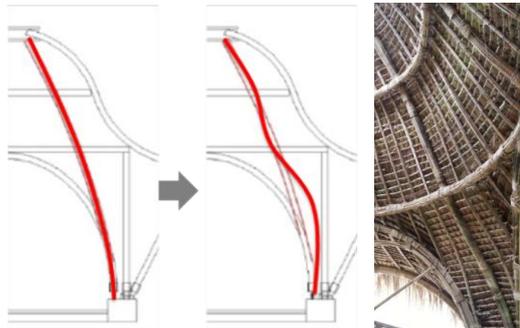
Penyaluran Beban

Dalam menyalurkan beban gravitasional, bentuk ini menyalurkan beban secara *two ways spanning* dengan 2 gaya, yaitu : gaya *meridional* dan gaya *hoop*. Gaya *meridional* pada bangunan ini disalurkan secara aksial tekan – searah serat oleh kolom lengkung (vertikal) utama, vertikal sekunder dan juga busur utama dan sekunder. Busur merupakan struktur form-active yang menyalurkan beban secara tekan (Gambar 4.18-1). Akibat posisi busur sekunder yang memiliki kemiringan +/- 60°, maka vertikal sekunder juga mengalami tarik. Gaya *hoop* pada bangunan ini diterima oleh ring 1, 2, dan 3. Ring 1 mengalami gaya tekan – tegak lurus serat, sedangkan ring 2 dan ring 3 mengalami gaya tarik – tegak lurus serat (Gambar 4.18-2).



**Gambar 4.18 Penyaluran Beban Gravitasiional :
Gaya meridional (1) dan Gaya Hoop (2)**

Elemen kolom lengkung (vertikal) utama mengalami deformasi yang diluar batas seharusnya. Hal ini diduga karena bambu bilah ikat tidak kuat menahan beban aksial tekan sejajar serat (Gambar 4.19)



Gambar 4.19 Deformasi pada kolom lengkung (vertikal) utama

Gaya pada Elemen Struktur yang Terbuat dari Bambu Bilah Ikat

Ada 3 gaya yang terjadi pada elemen struktural (Bagan 4.2) yang terbuat dari bambu bilah ikat, yaitu :

1. Tekan sejajar serat (aksial)
2. Tarik sejajar serat (aksial)
3. *Form active* – tekan
4. Tarik tegak lurus serat

Bagan 4.2 Cara penyaluran beban dan gaya yang terjadi pada elemen struktural

<i>Elemen Struktural</i>	<i>Cara penyalurkan beban</i>	<i>Gaya yang terjadi</i>
Vertikal utama	Aksial	Tekan sejajar serat
Vertikal sekunder	Aksial	Tekan dan tarik
Busur Utama	<i>form active</i> – tekan	Tekan tidak sejajar serat
Busur Sekunder	<i>form active</i> – tekan	Tekan tidak sejajar serat
Ring 2	Tarik	Tarik tegak lurus serat
Ring 3	Tarik	Tarik tegak lurus serat

Deformasi terjadi pada elemen yang mengalami gaya tekan sejajar serat yaitu elemen kolom lengkung (vertical) utama dan vertical sekunder, sehingga diduga bambu bilah ikat diduga tidak kuat tekan searah serat.

4.3 KOMPARASI DAN KESIMPULAN

Dari hasil komparasi fungsi formal spasial dan fungsi mekanika dari elemen struktur bilah bambu ikat (bagan 4.3) dapat disimpulkan bahwa:

- Bambu bilah ikat lebih cocok digunakan sebagai elemen struktur untuk bentuk bangunan organik, lengkung, asimetri dan tidak teratur
- Bambu bilah ikat lebih cocok untuk menjadi elemen pembentuk ruang dinamis yang memberikan kualitas ruang natural, informal dan luwes.
- Penggunaan jenis bambu, diameter dan jarak ikatan bambu bilah ikat akan mempengaruhi kekuatannya. Bambu bilah ikat ini diduga tidak kuat tekan searah serat.

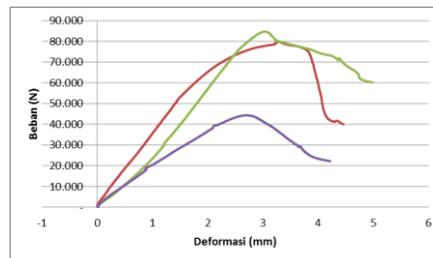
Bagan 4.3 Komparasi elemen struktur bambu bilah ikat pada fungsi formal spasial dan fungsi mekanika

<i>Fungsi Elemen Struktur</i>		<i>Objek Penelitian 1 Pearl Beach Lounge Gili Trawangan Lombok - NTB</i>	<i>Objek Penelitian 2 Musholla Bambu Desa Cibodas Jawa Barat</i>	<i>Simpulan</i>
Fungsi Formal	Bentuk bangunan	Bentuk geometrik	Bentuk organik	–Lebih cocok pada bentuk organik. lengkung, asimetri dan tidak teratur
	Bentuk atap <i>Order</i> Dimensi	Atap lengkung 2 arah hyperbolic paraboloid Simetri Teratur	Atap lengkung multi radius Simetri asimetri Tidak teratur	
Fungsi Spasial	Unsur pembentuk ruang	Menjadi elemen pembentuk ruang lengkung, kegagalan menyusun elemen struktural akan berdampak pada kualitas ruang	Menjadi elemen pembentuk ruang dinamis	–Lebih cocok untuk menjadi elemen pembentuk ruang dinamis
	Kualitas Ruang	Warna dan tekstur kasar menunjang kualitas kedekatan dengan alam dan pencipta	Warna dan tekstur kasar menunjang kualitas ruang informal dan luwes	–Kualitas ruang yang dihasilkan: natural, informal dan luwes
Fungsi Mekanika	Jenis Bambu	Bambu Gombong	Bambu Tali	–Penggunaan jenis bambu, diameter dan jarak ikatan bambu bilah ikat akan mempengaruhi kekuatannya.
	Dimensi bambu bilah ikat Gaya pada elemen struktur	Diamter +/- 12 cm Jarak Ikatan +/- 25 cm Tranversal <i>Form active</i> - tekan	Diamter +/- 10 cm Jarak Ikatan +/- 80 cm Tekan searah serat (deformasi) Tarik searah serat <i>Form active</i> – tekan Tarik tegak lurus serat	

BAB 5 KUAT TEKAN BAMBU BILAH IKAT

5.1 KUAT TEKAN BAMBU TALI

5.1.1 BAMBU TALI UTUH



Gambar 5.1 Grafik Beban vs. Deformasi pada Bambu Tali Utuh:

Hasil dari pengujian laboratorium untuk bambu tali utuh adalah sebagai berikut (tabel 5.1 dan gambar 5.1) :

- Beban *ultimate* : 4.534 – 8.648 kg
- rata-rata beban *ultimate* : 7.108 kg
- Kuat tekan (F) : 204.9 – 454.2 kg/cm²
- rata-rata kuat tekan (F) : 333,5 kg/cm²

Tabel 5.1 Kuat Tekan Bambu Tali Utuh

Benda Uji	φ Luar (R1) (mm)	Tebal Dinding (mm) /	Luas Penampang (cm ²)	Berat per m (kg)	Beban Ultimate (kg)	Δ dimensioin pada saat peak load (%)	kuat tekan (kg/cm ²)
1	81.9	8.4	17.9	1.6	8142	5.1	454.2
2	84.1	9.8	25.3	1.7	8648	4.7	341.4
3	81.1	8.1	22.1	1.1	4534	4.2	204.9

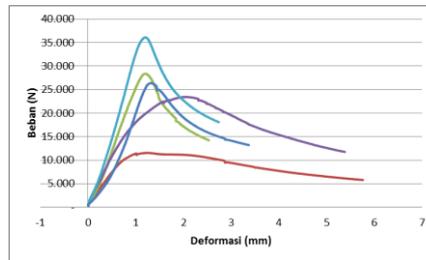
Jenis kerusakan yang terjadi adalah:

1. *crushing* pada kulit bambu area ruas (Gambar 5.2-1)
2. *crushing* pada kulit bambu area tengah (Gambar 5.2-2)
3. *shearing* pada area ruas (Gambar 5.2-3)
4. *shearing* pada area tengah (Gambar 5.2-4)



Gambar 5.2 Tipe Kerusakan pada Bambu Tali Utuh: *crushing* pada kulit bambu area ruas (1), *crushing* kulit bambu pada area tengah (2), *shearing* pada area ruas (3), *shearing* pada area tengah (4)

5.1.2 BAMBU TALIL BILAH IKAT DENGAN JARAK IKATAN 25 CM



Gambar 5.3 Grafik Beban vs. Deformasi pada Bambu Tali Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 25 cm

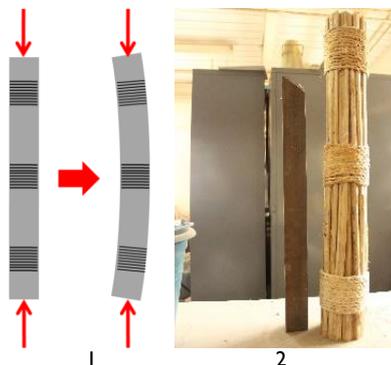
Hasil dari pengujian laboratorium untuk bambu tali bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm adalah sebagai berikut (tabel 5.2 dan gambar 5.3) :

- Beban *ultimate* : 1.178 – 3.686 kg
- rata-rata beban *ultimate* : 2.569 kg
- Kuat tekan (F) : 23,8 – 91 kg/cm²
- rata-rata kuat tekan (F) : 89,3 kg/cm²

Tabel 5.2 Kuat Tekan Bambu Tali Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 25 cm

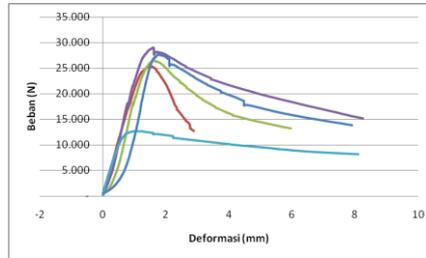
Benda Uji	φ Luar (RI) (mm)	Tebal Dinding (mm) /	Luas Penampang (cm ²)	Berat per m (kg)	Beban Ultimate (kg)	Δ	kuat tekan (kg/cm ²)
						dimenssion pada saat peak load (%)	
1	82.4	33	49.5	2.7	1178	1.3	23.8
2	75.9	26	39	2.6	2895	1.2	74.2
3	87.4	32	48	3.4	2392	2.1	49.8
4	87.9	27	40.5	2.6	3686	1.2	91
5	81.4	34	51	2.9	2693	1.3	52.8

Pada saat pengujian, bambu bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm mengalami tekuk dengan arah tekuk yang sama untuk setiap bilah bambu (gambar 5.4-1) dan akan kembali ke bentuk semula ketika sudah tidak dibebani (gambar 5.4-2). Tidak terdapat kerusakan pada elemen struktur.



Gambar 5.4 Deformasi Bambu Tali Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 25 cm Deformasi pada saat uji tekan (1), Deformasi setelah uji tekan (2)

5.1.3 BAMBU TALII BILAH IKAT DENGAN JARAK IKATAN 50 CM



Gambar 5.5 Grafik Beban vs. Deformasi pada Bambu Tali Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 50 cm

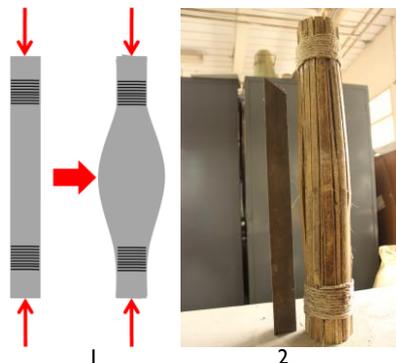
Hasil dari pengujian laboratorium untuk bambu tali bilah ikat dengan jarak ikatan 50 cm adalah sebagai berikut (tabel 5.2 dan gambar 5.5) :

- Beban *ultimate* : 1.297 – 2.962 kg
- rata-rata beban *ultimate* : 2.477 kg
- Kuat tekan (F) : 25,4 – 56,3 kg/cm²
- rata-rata kuat tekan (F) : 46,3 kg/cm²

Tabel 5.3 Kuat Tekan Bambu Tali Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 50 cm

Benda Uji	φ Luar (R1) (mm)	Tebal Dinding (mm) /	Luas Penampang (cm ²)	Berat per m (kg)	Beban Ultimate (kg)	Δ	kuat tekan (kg/cm ²)
						dimenssion pada saat peak load (%)	
1	81.9	34	51	2.9	2595	2.3	50.9
2	86.7	32	48	2.7	2703	2.5	56.3
3	90.5	40	60	3.1	2962	2.5	49.4
4	87	34	51	2.8	1297	1.7	25.4
5	86.1	38	57	3.1	2829	2.7	49.6

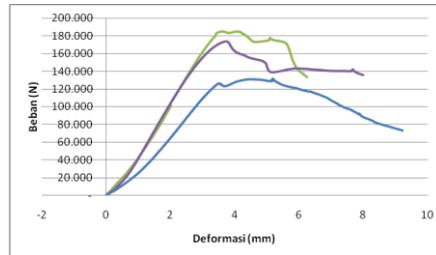
Pada saat pengujian, bambu bilah ikat dengan jarak ikatan 50 cm mengalami tekuk dengan arah tekuk yang tidak sama untuk setiap bilah bambu (gambar 5.6-1) dan tidak kembali sempurna ke bentuk semula ketika sudah tidak dibebani (gambar 5.6-2). Tidak terdapat kerusakan pada elemen struktur.



Gambar 5.6 Deformasi Bambu Tali Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 50 cm Deformasi pada saat uji tekan (1), Deformasi setelah uji tekan (2)

5.2 KUAT TEKAN BAMBU GOMBONG

5.2.1 BAMBU GOMBONG UTUH



Gambar 5.7 Grafik Beban vs. Deformasi pada Bambu Gombang Utuh:

Hasil dari pengujian laboratorium untuk bambu gombang utuh adalah sebagai berikut (tabel 5.1 dan gambar 5.1) :

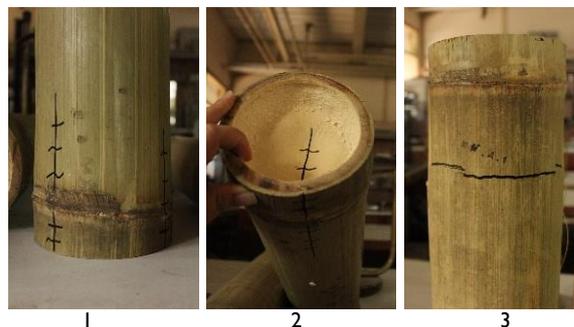
- Beban *ultimate* : 13.438 – 18.852 kg
- rata-rata beban *ultimate* : 16.684 kg
- Kuat tekan (F) : 492,9 – 700,2 kg/cm²
- rata-rata kuat tekan (F) : 600,9 kg/cm²

Tabel 5.4 Kuat Tekan Bambu Gombang Utuh

Benda Uji	φ Luar (R1) (mm)	Tebal Dinding (mm) /	Luas Penampang (cm ²)	Berat per m (kg)	Beban Ultimate (kg)	Δ dimenssion pada saat peak load (%)	kuat tekan (kg/cm ²)
1	81.9	8.4	17.9	1.6	8142	5.1	454.2
2	84.1	9.8	25.3	1.7	8648	4.7	341.4
3	81.1	8.1	22.1	1.1	4534	4.2	204.9

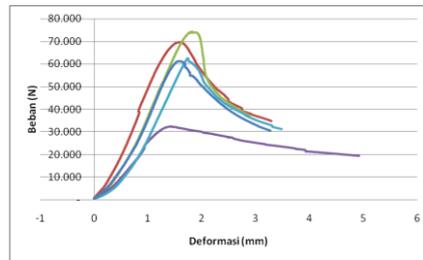
Jenis kerusakan yang terjadi adalah:

1. *crushing* pada kulit bambu area ruas (Gambar 5.8-1)
2. *crushing* pada daging dalam bambu area ruas (Gambar 5.8-2)
3. *shearing* pada area ruas (Gambar 5.8-3)



Gambar 5.8 Tipe Kerusakan pada Bambu Gombang Utuh:
crushing pada kulit bambu area ruas (1), *crushing* pada daging dalam bambu area ruas (2), *shearing* pada area ruas (3)

5.2.2 BAMBU GOMBONG BILAH IKAT DENGAN JARAK IKATAN 25 CM



Gambar 5.9 Grafik Beban vs. Deformasi pada Bambu Gombang Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 25 cm

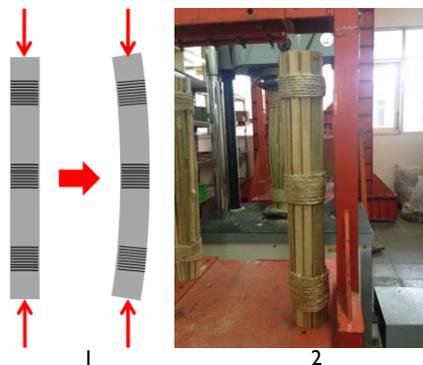
Hasil dari pengujian laboratorium untuk bambu gombang bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm adalah sebagai berikut (tabel 5.5 dan gambar 5.9) :

- Beban *ultimate* : 3.309 – 7.582 kg
- rata-rata beban *ultimate* : 6.125 kg
- Kuat tekan (F) : 78,8 – 182,1 kg/cm²
- rata-rata kuat tekan (F) : 141,3 kg/cm²

Tabel 5.5 Kuat Tekan Bambu Gombang Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 25 cm

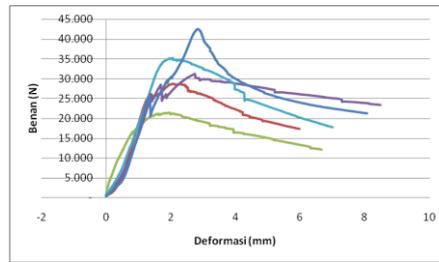
Benda Uji	\varnothing Luar (R1) (mm)	Tebal Dinding (mm) l	Luas Penampang (cm ²)	Berat per m (kg)	Beban Ultimate (kg)	Δ	kuat tekan (kg/cm ²)
						dimenssion pada saat peak load (%)	
1	95.6	26	39	3.7	7100	2.4	182.1
2	105.7	39	58.5	3.5	7582	2.8	129.6
3	85.4	28	42	3.2	3309	2.2	78.8
4	90.5	24	36	3.3	6380	2.7	177.2
5	99	30	45	3.5	6256	2.4	139

Pada saat pengujian, bambu bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm mengalami tekuk dengan arah tekuk yang sama untuk setiap bilah bambu (gambar 5.10-1) dan akan kembali ke bentuk semula ketika sudah tidak dibebani (gambar 5.10-2). Tidak terdapat kerusakan pada elemen struktur.



Gambar 5.10 Deformasi Bambu Gombang Bilah Ikat - Jarak Ikatan 25 cm Deformasi pada saat uji tekan (1), Deformasi setelah uji tekan (2)

5.2.3 BAMBU GOMBONG BILAH IKAT DENGAN JARAK IKATAN 50 CM



Gambar 5.11 Grafik Beban vs. Deformasi pada Bambu Gombang Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 50 cm

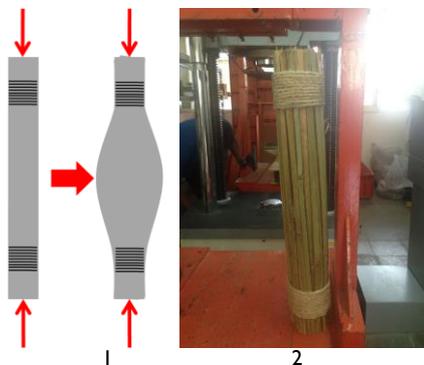
Hasil dari pengujian laboratorium untuk bambu gombang bilah ikat dengan jarak ikatan 50 cm adalah sebagai berikut (tabel 5.6 dan gambar 5.11) :

- Beban *ultimate* : 1.899 – 3.669 kg
- rata-rata beban *ultimate* : 2.895kg
- Kuat tekan (F) : 24,7– 80,2 kg/cm²
- rata-rata kuat tekan (F) : 47 kg/cm²

Tabel 5.6 Kuat Tekan Bambu Gombang Bilah Ikat dengan Jarak Ikatan 50 cm

Benda Uji	φ Luar (RI) (mm)	Tebal Dinding (mm) l	Luas Penampang (cm ²)	Berat per m (kg)	Beban Ultimate (kg)	Δ	
						dimenssion pada saat peak load (%)	kuat tekan (kg/cm ²)
1	108.8	71	106.5	4.3	2680	3.2	27.5
2	115.8	59	88.5	4	1899	3	24.7
3	109.6	34	51	3.3	2811	4.2	62.6
4	106.5	60	90	4.1	3416	3.2	40
5	102.1	36	54	3.7	3669	4.4	80.2

Pada saat pengujian, bambu bilah ikat dengan jarak ikatan 50 cm mengalami tekuk dengan arah tekuk yang tidak sama untuk setiap bilah bambu (gambar 5.12-1) dan tidak kembali sempurna ke bentuk semula ketika sudah tidak dibebani (gambar 5.12-2). Tidak terdapat kerusakan pada elemen struktur namun bilah bambu mengalami torsi.



Gambar 5.12 Deformasi Bambu Gombang Bilah Ikat - Jarak Ikatan 50 cm Deformasi pada saat uji tekan (1), Deformasi setelah uji tekan (2)

5.3 KOMPARASI KUAT TEKAN

5.3.1 BEBAN TEKAN ULTIMATE

Hasil dari komparasi beban tekan *ultimate* dari setiap bambu (Tabel 5.13) maka didapatkan hasil sebagai berikut:

- tipe bambu yang mampu menerima beban tekan *ultimate* terbesar adalah bambu gombang utuh
- tipe bambu yang mampu menerima beban tekan *ultimate* terkecil adalah bambu tali bilah ikat – jarak ikatan 50 cm
- tipe bambu bilah ikat yang mampu menerima beban tekan *ultimate* terbesar adalah bambu gombang bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm.
- tipe bambu bilah ikat yang mampu menerima beban tekan *ultimate* terkecil adalah bambu tali bilah ikat dengan jarak ikatan 50 cm.

Tabel 5.13 Komparasi Beban Tekan Ultimate

<i>Tipe Bambu</i>	<i>Beban Ultimate Min – Max (kg)</i>	<i>Beban Ultimate rata-rata (kg)</i>
Bambu Tali Utuh	4.534 – 8.648	7.108
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	1.178 – 3.686	2.569
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	1.297 – 2.962	2.477
Bambu Gombang Utuh	13.438 – 18.852	16.684
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	3.309 – 7.582	6.125
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	1.899 – 3.669	2.895

Hasil dari persentase beban tekan *ultimate* terhadap bambu gombang utuh (Tabel 5.14) didapatkan hasil sebagai berikut:

- Bambu utuh mampu menerima beban tekan lebih besar dari bambu bilah ikat.
- Bambu bilah ikat dengan jarak ikatan lebih kecil mampu menerima beban tekan lebih besar
- Kemampuan menerima beban tekan pada bambu gombang bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm adalah 36,7 % dari beban tekan yang mampu diterima oleh bambu gombang utuh (mendekati kemampuan menerima beban tekan yang mampu diterima oleh bambu tali utuh)
- Bambu Gombang Bilah ikat – Jarak Ikatan 50 cm, Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 dan 50 cm memiliki kemampuan menerima beban tekan yang sangat kecil dibandingkan bambu gombang utuh (< 20%)

Tabel 5.14 Persentase Beban Tekan Ultimate

<i>Tipe Bambu</i>	<i>Beban Ultimate rata-rata (kg)</i>	<i>Persentase</i>
Bambu Gombang Utuh	16.684	100 %
Bambu Tali Utuh	7.108	42,6 %
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	6.125	36,7 %
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	2.895	17,4 %
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	2.569	15,4 %
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	2.569	15,4 %

5.3.2 KUAT TEKAN

Hasil dari komparasi kuat tekan dari setiap tipe bambu (Tabel 5.15) maka didapatkan hasil sebagai berikut:

- tipe bambu yang memiliki kuat tekan terbesar adalah bambu gombang utuh
- tipe bambu yang memiliki kuat tekan terkecil adalah bambu tali bilah ikat – jarak ikatan 50 cm
- tipe bambu bilah ikat yang memiliki kuat tekan terbesar adalah bambu gombang bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm.
- tipe bambu bilah ikat yang memiliki kuat tekan terkecil adalah bambu tali bilah ikat dengan jarak ikatan 50 cm.

Tabel 5.15 Komparasi Kuat Tekan

<i>Tipe Bambu</i>	<i>Kuat Tekan Min – Max (kg/cm²)</i>	<i>Kuat Tekan rata-rata (kg/cm²)</i>
Bambu Tali Utuh	204,9 – 454,2	333,5
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	23,8 – 91	89,3
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	25,4 – 56,3	46,3
Bambu Gombang Utuh	492,9 – 700,2	600,9
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	78,8 – 182,1	141,3
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	24,7 – 80,2	47

Hasil dari persentase kuat tekan terhadap bambu gombang utuh (Tabel 5.16) didapatkan hasil sebagai berikut:

- Bambu utuh memiliki kuat tekan yang lebih besar dari bambu bilah ikat.
- Bambu bilah ikat dengan jarak ikatan lebih kecil memiliki kuat tekan yang lebih besar
- Kuat tekan bambu gombang bilah ikat dengan jarak ikatan 25 cm adalah 23,5 % dari kuat tekan bambu gombang utuh
- Bambu Gombang Bilah ikat – Jarak Ikatan 50 cm, Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 dan 50 cm memiliki kemampuan menerima beban tekan yang sangat kecil dibandingkan bambu gombang utuh (< 15%)

Tabel 5.16 Persentase Kuat Tekan

<i>Tipe Bambu</i>	<i>Kuat Tekan rata-rata (kg/cm²)</i>	<i>Persentase</i>
Bambu Gombang Utuh	600,9	100 %
Bambu Tali Utuh	333,5	55.5 %
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	141,3	23.5 %
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	89,3	14.9 %
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	47	7,8 %
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	46,3	7.7 %

5.3.3 DEFORMASI DAN KERUSAKAN

Hasil dari komparasi deformasi dan kerusakan (Tabel 5.15) maka didapatkan hasil sebagai berikut:

- Perubahan dimensi pada bambu utuh lebih besar (4-5%) dibandingkan pada bambu bilah ikat (2-3%)
- tipe bambu utuh (baik jenis bambu tali dan bambu gombang) akan mengalami kerusakan tetap berupa *crushing* dan *shearing*.
- Tipe bambu bilah ikat dengan jarak 25 cm akan mengalami tekuk ke arah yang sama untuk setiap bilah bambu. Bambu tipe ini akan kembali ke bentuk semula setelah tidak ada pembebanan.
- Tipe bambu bilah ikat dengan jarak 50 cm akan mengalami tekuk ke arah yang tidak sama untuk setiap bambu bilah dan mengalami torsi pada bambu bilahnya. Bambu tipe ini tidak kembali dengan sempurna ke bentuk semula setelah tidak ada pembebanan.

Tabel 5.17 Komparasi Deformasi dan Kerusakan

<i>Tipe Bambu</i>	Δ <i>dimenssion</i>	<i>Deformasi dan Kerusakan pada saat pengujian</i>	<i>Deformasi dan Kerusakan Pasca Pengujian</i>
Bambu Tali Utuh	4,65 %	- <i>Crushing</i> pada kulit bambu area ruas dan tengah - <i>Shearing</i> pada kulit bambu area ruas dan tengah	Kerusakan Tetap
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	2,17 %	-Tekuk dengan arah yang sama untuk setiap bilah bambu	Kembali ke bentuk semula
Bambu Tali Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	2,35 %	-Tekuk dengan arah yang tidak sama untuk setiap bilah bambu -Torsi pada bilah-bilah bambu	Tidak kembali sempurna ke bentuk semula
Bambu Gombang Utuh	5,75 %	- <i>Crushing</i> pada kulit bambu dan daging bambu area ruas - <i>Shearing</i> pada kulit bambu area ruas	Kerusakan Tetap
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 25 cm	2,52 %	-Tekuk dengan arah yang sama untuk setiap bilah bambu	Kembali ke bentuk semula
Bambu Gombang Bilah Ikat – Jarak Ikatan 50 cm	3,05 %	-Tekuk dengan arah yang tidak sama untuk setiap bilah bambu -Torsi pada bilah-bilah bambu	Tidak kembali sempurna ke bentuk semula

5.4 KESIMPULAN

Dari hasil uji laboratorium untuk kuat tekan bambu utuh dan bambu bilah ikat ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

(1) Jenis bambu

- Jenis mempengaruhi kuat tekan bambu bilah ikat.
- Jenis bambu yang memiliki kuat tekan lebih baik adalah bambu gombang

(2) Jarak ikatan

- Jarak ikatan akan mempengaruhi kuat tekan bambu bilah ikat.
- Bambu bilah ikat yang memiliki jarak ikatan lebih kecil memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan bambu bilah ikat yang memiliki jarak ikatan yang lebih besar.

(3) Kemampuan tekan bambu bilah ikat

- Bambu bilah ikat yang mampu menerima beban tekan (6.125 kg - 36,7% dari kemampuan menerima beban tekan bambu gombang utuh – berdasarkan diameter) dan memiliki kuat tekan terbesar adalah bambu gombang bilah ikat per 25 cm (141,3 kg/cm² – 23,5% dari kuat tekan bambu gombang utuh).
- Tipe bambu bilah ikat lainnya tidak mampu menerima beban tekan (< 20% dari kemampuan menerima beban tekan bambu gombang utuh – berdasarkan diameter) dan memiliki kuat tekan yang sangat rendah (< 15% dari kuat tekan bambu gombang utuh).
- Bambu bilah ikat tidak direkomendasikan untuk menjadi elemen struktur yang menyalurkan beban tekan sejajar serat.

(4) Deformasi dan Kerusakan

- Perubahan dimensi, deformasi dan kerusakan pada bambu bambu bilah ikat bersifat minor dibandingkan dengan bambu utuh.
- Tipe bambu utuh (baik jenis bambu tali dan bambu gombang) akan mengalami kerusakan tetap berupa *crushing* dan *shearing*.
- Tipe bambu bilah ikat dengan jarak 25 cm akan mengalami tekuk ke arah yang sama untuk setiap bilah bambu. Bambu tipe ini akan kembali ke bentuk semula setelah tidak ada pembebanan.
- Tipe bambu bilah ikat dengan jarak 50 cm akan mengalami tekuk ke arah yang tidak sama untuk setiap bambu bilah dan mengalami torsi pada bambu bilahnya. Bambu tipe ini tidak kembali dengan sempurna ke bentuk semula setelah tidak ada pembebanan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Dari penelitian ini, disimpulkan bahwa :

- (1) Ditinjau dari fungsi formal, bambu bilah ikat lebih tepat guna diaplikasikan sebagai elemen struktural untuk bangunan dengan bentuk organik, lengkung, asimetri dan tidak teratur dalam dimensi dibandingkan dengan bentuk geometrik, lurus, simetri dan teratur dalam dimensi.
- (2) Ditinjau dari fungsi spasial, bambu bilah ikat lebih tepat guna diaplikasikan sebagai elemen struktural yang menjadi elemen pembentuk ruang dinamis yang memberikan kualitas ruang natural, informal dan luwes melalui warna dan tekstur kasarnya.
- (3) Ditinjau dari fungsi mekanika, penggunaan jenis bambu, diameter dan jarak ikatan bambu bilah ikat akan mempengaruhi kekuatan bambu bilah ikat.
 - Bambu bilah ikat menggunakan jenis bambu gombang memiliki kuat tekan lebih baik dari bambu tali.
 - Bambu bilah ikat yang memiliki jarak ikatan lebih kecil memiliki kuat tekan yang lebih besar (pada penelitian ini jarak yang diuji adalah 25 cm) dibandingkan dengan jarak ikatan yang lebih besar (pada penelitian ini jarak yang diuji adalah 50 cm).
 - Bambu bilah ikat tidak direkomendasikan untuk menjadi elemen struktur yang menyalurkan beban tekan sejajar serat, dengan pertimbangan dari hasil penelitian sebagai berikut:
 - Bambu bilah ikat yang mampu menerima beban tekan (6.125 kg - 36,7% dari kemampuan menerima beban tekan bambu gombang utuh – berdasarkan diameter) dan memiliki kuat tekan terbesar adalah bambu gombang bilah ikat per 25 cm (141,3 kg/cm² – 23,5% dari kuat tekan bambu gombang utuh).
 - Tipe bambu bilah ikat lainnya tidak mampu menerima beban tekan (< 20% dari kemampuan menerima beban tekan bambu gombang utuh – berdasarkan diameter) dan memiliki kuat tekan yang sangat rendah (< 15% dari kuat tekan bambu gombang utuh).
 - Deformasi bambu bilah ikat sebagai elemen struktural yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan adalah perubahan dimensi, deformasi dan kerusakan pada bambu bambu bilah ikat bersifat minor dibandingkan dengan bambu utuh, yaitu :
 - Tipe bambu bilah ikat dengan jarak 25 cm akan mengalami tekuk ke arah yang sama untuk setiap bilah bambu. Bambu tipe ini akan kembali ke bentuk semula setelah tidak ada pembebanan.
 - Tipe bambu bilah ikat dengan jarak 50 cm akan mengalami tekuk ke arah yang tidak sama untuk setiap bambu bilah dan mengalami torsi pada bambu bilahnya. Bambu tipe ini tidak kembali dengan sempurna ke bentuk semula setelah tidak ada pembebanan.

6.2 SARAN

6.2.1 UNTUK PERANCANG/ ARSITEK

Memilih material yang tepat untuk elemen struktural sangat penting agar elemen struktural tersebut dapat berfungsi optimal dalam perannya dalam fungsi formal, spasial dan mekanika. Bambu bilah ikat menjadi salah satu pilihan yang dapat dijadikan material elemen struktural lengkung yang dapat diaplikasikan pada bangunan organik.

6.2.2 UNTUK PENELITIAN LANJUTAN

Melihat potensi bambu bilah ikat dari aspek arsitektural dan strukturalnya maka penelitian ini dapat dilanjutkan dengan meneliti properti materialnya lainnya, seperti kuat tarik, kuat lentur, kuat geser dan modulus elastisitasnya.

Penelitian lain dapat dilakukan dengan menambah atau merubah variabel penelitian, misalkan:

- (1) Jenis bambu lainnya
- (2) Jarak ikatan yang lebih beragam
- (3) Jenis tali yang digunakan
- (4) Ukuran bilah bambu
- (5) Penggunaan bambu laminasi

DAFTAR PUSTAKA

1. Charleson, Andrew W. 2005. *Structure as Architecture*. Oxford: Architectural Press.
2. Ching, Francis D.K. 2009. *Building Structure Illustrated: Patterns, Systems, and Design*. New Jersey: John Wiley & Sons.
3. Frey, Pierre. 2013. *Simon Velez: Architect – Mastering Bamboo*. Verona: Actes Sud.
4. Frick, Heinz. 2004. *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Yogyakarta: Kanisius.
5. MacDonald, Angus J. 2001. *Struktur & Arsitektur*, terj. Dr. Ir. Pariatmono dan Ir. Paulus Hanote Adjie. Jakarta : Erlangga.
6. Maurina, Anastasia; Franseno; Gunawan, Yenny. 2015. *Surau Bambu: Design, Construction and Appreciation*. Bandung: UNPAR Press.
7. Minke, Gernot. 2012. *Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Germany: Birkhauser
8. Otto, Frei. 1985. *IL 31 Bambus Bamboo*. Stuttgart: Institute for Lightweight Structure.
9. Sandaker, Bjorn N. 2008. *On Span and Space: Exploring Structure in Architecture*. New York: Routledge.
10. Schodek, Daniel L. (1999). *Struktur*. Jakarta: Erlangga.
11. Septiana, Michelina. 2015. *Peranan Bambu Bilah Ikat Terkait dengan Bentuk, Ruang, Struktur dan Konstruksi pada Bangunan Pearl Beach Lounge*. Bunga Rampai Skripsi Program Studi Arsitektur. Bandung: UNPAR Press