

**KOMPARASI PENGGUNAAN MATERIAL BAMBU DALAM
STRUKTUR '*FORM-ACTIVE*' DAN '*SEMI-FORM-ACTIVE*'
PADA BANGUNAN LENGKUNG BENTANG LEBAR**



Disusun Oleh:

**ANASTASIA MAURINA ST., MT.
WULANI ENGGAR SARI, ST., MT.
JANICE KRISANTI
JATI ADHISAKSANA**

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Katolik Parahyangan
2014**

ABSTRAK

KOMPARASI PENGGUNAAN MATERIAL BAMBU DALAM STRUKTUR '*FORM-ACTIVE*' DAN '*SEMI-FORM-ACTIVE*' PADA BANGUNAN LENGKUNG BENTANG LEBAR

Oleh

**Anastasia Maurina, Wulani Enggar Sari,
Janice Krisanti & Jati Adhisaksana**

Bambu merupakan material lokal yang memiliki banyak potensi. Di Indonesia, bambu sudah dikenal sebagai salah satu material konstruksi bangunan. Bambu memiliki nilai ekologis yang baik. Bambu juga memiliki properti mekanikal yang baik. Teknologi seputar bambu mulai berkembang, seperti munculnya joint-joint bambu yang menambah kekuatan bambu. Teknologi pengawetan bambu mulai berkembang, sehingga bambu dapat dijadikan material konstruksi yang lebih permanen. Material yang ringan namun memiliki kekuatan yang tinggi, bambu berpotensi dijadikan material struktur untuk bangunan bentang lebar. Selain itu, karakter yang fleksibel (mudah dibentuk), berpotensi untuk bentuk-bentuk lengkung (bentuk yang cukup sulit dicapai dengan material konstruksi lainnya).

Pada bangunan bentang lebar seringkali struktur sebagai arsitektur, dimana bentuk struktural adalah bentuk arsitekturalnya. Sehingga, seorang perancang (arsitek) sangat perlu memahami karakteristik material dan prinsip-prinsip perancangan strukturnya. Pemilihan tipe struktur '*form-active*' dan '*semi-form-active*' pada bangunan lengkung bentang besar akan berpengaruh pada bentuk arsitektural, bentuk struktural dan properti material bambu itu sendiri.

Di Indonesia, aplikasi bambu sebagai struktur pada bangunan lengkung berbentang lebar mulai muncul di dekade terakhir ini, contohnya adalah Green School – Bali, Puri Ahimsa – Bali, dan Obi Campus – Jatiluhur (bangunan tersebut akan menjadi objek studi pada penelitian ini).

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif korelasi & komparatif yang dianalisa secara kualitatif. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan observasi multi - objek studi. Penelitian ini memperlihatkan korelasi kausal-komparasi antara bentuk arsitektural, bentuk struktural dan properti material bambu dalam perancangan bangunan lengkung bentang besar yang mengaplikasikan struktur '*form-active*' dan '*semi-form-active*'. Pengambilan keputusan mengenai bentuk struktural dalam perancangan akan berdampak pada bentuk arsitektural dan properti material bambu yang digunakan. Oleh sebab itu perancang/arsitek harus memiliki pengetahuan yang cukup baik mengenai bentuk struktural dan properti material ketika proses merancang bentuk arsitekturalnya. Hal ini bermanfaat untuk mengembangkan keilmuan mengenai bambu sebagai struktur bangunan lengkung berbentang besar lebar.

Kata kunci:

form active, semi form active, bambu, lengkung, struktur bentang lebar

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.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Urgensi Penelitian.....	3
1.6. Metode Penelitian.....	4
<i>Objek Penelitian.....</i>	<i>4</i>
<i>Kerangka Penelitian.....</i>	<i>4</i>
<i>Metode Pengumpulan Data.....</i>	<i>5</i>
<i>Variabel Penelitian.....</i>	<i>5</i>
<i>Tahapan Analisis.....</i>	<i>6</i>
<i>Sistematika Pembahasan.....</i>	<i>6</i>
BAB 2. BAMBU SEBAGAI MATERIAL STRUKTUR BANGUNAN.....	7
2.1. Jenis Bambu untuk Konstruksi.....	7
2.2. Sifat Mekanika Bambu.....	8
2.3. Pengolahan Bentuk Elemen Struktural.....	9
2.3.1. Balok Tunggal Utuh.....	9
2.3.2. Bilah Bambu.....	9
2.3.3. Tutu.....	10
2.3.4. Bambu Lapis.....	10
2.3.5. Tali Bambu.....	11
2.3.6. Melengkungkan Bambu.....	11
2.4. Sambungan.....	12
2.4.1. Tipe Sambungan Rol.....	12
2.4.2. Tipe Sambungan Sendi.....	13
2.4.3. Tipe Sambungan Jepit.....	13
2.4.4. Tipe Sambungan Lainnya.....	15
BAB 3. BENTUK STRUKTURAL.....	17
3.1. Struktur ' <i>Form-Active</i> ', ' <i>Semi-Form-Active</i> ', dan ' <i>Non-Form-Active</i> '.....	17
3.1.1. Struktur ' <i>Form-Active</i> '.....	18
3.1.2. Struktur ' <i>Semi-Form-Active</i> '.....	18
3.1.3. Struktur ' <i>Non-Form-Active</i> '.....	18
3.2. Sistem Struktur.....	19
3.2.1. <i>Rigid Frame</i>	19
3.2.2. <i>Framework</i>	19
3.2.3. <i>Rafter Roof</i>	20

3.2.4.	<i>Arches</i>	21
3.2.5.	<i>Grid Shells</i>	21
3.3.	Geometri Elemen Struktur.....	22
3.4.	Elemen Struktural Penahan Gaya Lateral.....	23
3.4.1.	<i>Braced Frames</i>	23
3.4.2.	<i>Moment Frame</i>	23
3.4.3.	<i>Shear Walls</i>	24
3.5.	Pola Konfigurasi Elemen Struktural.....	24
3.5.1.	Pola Konfigurasi Elemen Struktural Vertikal.....	24
3.5.2.	Pola Konfigurasi Elemen Struktural Horisontal.....	25
3.5.3.	Pola Konfigurasi Elemen Struktural Penahan Gaya Lateral.....	25
3.6.	Penyaluran Beban.....	25
3.6.1.	Penyaluran Beban 1 Arah dan 2 Arah.....	25
3.6.2.	Aksial dan Tranversal.....	26
3.6.3.	Gaya Dalam.....	27
3.6.4.	Distribusi Momen dan Geser.....	28
3.7.	Tumpuan/Sambungan.....	29

BAB 4. KOMPARASI BENTUK ARSITEKTURAL BANGUNAN

LENGKUNG.....30

4.1.	Bentuk Arsitektural ' <i>The Great Hall</i> ', OBI Eco-Campus, Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat.....	30
4.2.	Bentuk Arsitektural ' <i>Mepantigan</i> ', Green School, Bali.....	32
4.3.	Bentuk Arsitektural ' <i>Heart of Green School</i> ', Bali.....	34
4.4.	Bentuk Arsitektural ' <i>Mandala Agung</i> ', Puri Ahimsa, Bali.....	36
4.5.	Komparasi Bentuk Arsitektural.....	38

BAB 5. KOMPARASI BENTUK STRUKTURAL PADA BANGUNAN

LENGKUNG.....39

5.1.	Bentuk Struktural Bangunan Lengkung Linear.....	40
5.1.1.	<i>Global Structural Form</i>	40
5.1.2.	<i>Local Structural Form</i>	44
5.2.	Bentuk Struktural Bangunan Lengkung Terpusat.....	50
5.2.1.	<i>Global Structural Form</i>	50
5.2.2.	<i>Local Structural Form</i>	54
5.3.	Komparasi Bentuk Struktural.....	59
5.3.1.	<i>Global Structural Form</i>	59
5.3.2.	<i>Local Structural Form</i>	62

BAB 6. KOMPARASI PROPERTI MATERIAL BAMBU PADA

BANGUNAN LENGKUNG.....67

6.1.	Properti Material pada Bangunan Lengkung Linear.....	68
6.1.1.	<i>Structural Properties</i>	68

6.1.2. <i>Technological Properties</i>	69
6.1.3. <i>Geometrical Properties</i>	70
6.2. Properti Material pada Bangunan Lengkung Terpusat	71
6.2.1. <i>Structural Properties</i>	71
6.2.2. <i>Technological Properties</i>	72
6.2.3. <i>Geometrical Properties</i>	73
6.3. Komparasi Properti Material	74
BAB 7. KESIMPULAN	77
7.1. Korelasi Bentuk Arsitektural, Bentuk Struktural, dan Material Properti pada Bangunan Lengkung Linear dan Lengkung Terpusat	77
7.2. Komparasi Bentuk Struktural – Properti Material pada Struktur 'Form-Active' dan 'Semi-Form-Active'	81
7.3. Pentup	83

Daftar Pustaka

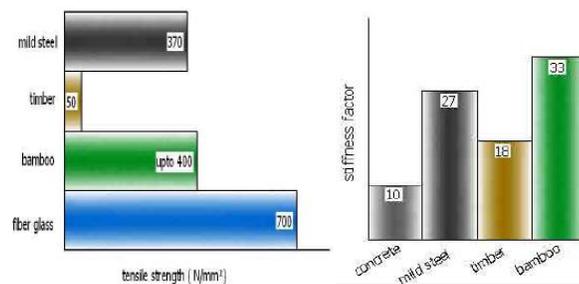
Lampiran

BAB 1 | PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Di Indonesia, bambu sudah dikenal sebagai salah satu material konstruksi bangunan. Namun “image” bambu adalah material bangunan milik kaum miskin yang cepat rusak¹. Bahkan Badan Pusat Statistik membuat salah satu criteria masyarakat miskin adalah jenis lantai/dinding tempat tinggal terbuat dari bambu². Hal ini yang menyebabkan bambu dianggap material bangunan kelas 3 dan non-permanen.

Disisi lain, Bambu memiliki nilai ekologis yang baik. Bambu merupakan material konstruksi yang berkelanjutan. Jika dibandingkan dengan kayu, menanam bambu hanya membutuhkan waktu 3-6 tahun untuk dapat digunakan sebagai material konstruksi. Selain itu untuk memproduksi 1 ton bambu, akan mengkonsumsi 1 ton CO₂. Bambu juga memiliki properti mekanikal yang baik. Rasio yang tinggi antara kekuatan berbanding dengan berat dibandingkan dengan material konstruksi lainnya. Teknologi seputar bambu mulai berkembang, seperti munculnya joint-joint bambu yang menambah kekuatan bambu. Teknologi pengawetan bambu mulai berkembang, sehingga bambu dapat dijadikan material konstruksi yang lebih permanen.



Gambar 1.1 Perbandingan material bambu dengan material konstruksi lainnya

sumber : www.sahabatbambu.com

Material yang ringan namun memiliki kekuatan yang tinggi, bambu berpotensi dijadikan **material struktur untuk bangunan bentang lebar**. Selain itu, karakter yang fleksibel (mudah dibentuk), berpotensi untuk **bentuk-bentuk lengkung** (bentuk yang cukup sulit dicapai dengan material konstruksi lainnya). Dari sisi arsitektur bentuk

¹ www.sahabatbambu.com

² Badan Pusat Statistik

merupakan hal yang dapat dilihat secara fisik sehingga perencanaan sebuah bangunan bila memikirkan struktur dan bentuk. Dalam hal ini bentuk dapat tercipta dari analisa penysluran beban. Dalam memikul beban elemen-elemen pada struktur *form-active* memikul jenis gaya dalam aksial (aksial tekan/aksial tarik) sedangkan dalam memikul beban elemen-elemen pada struktur *semi-form-active* memikul jenis gaya dalam lentur.

Di Indonesia, aplikasi bambu sebagai struktur pada bangunan lengkung berbentuk lebar mulai muncul di dekade terakhir ini, contohnya adalah Green School – Bali, Puri Ahimsa – Bali, dan Obi Campus – Jatiluhur (bangunan tersebut akan menjadi objek studi pada penelitian ini). Namun penelitian seputar bambu ini masih sedikit sekali dibandingkan dengan material konstruksi lainnya. Sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi dunia pendidikan arsitektur dan para praktisi.



Gambar 1.2 Green School, Puri Ahimsa, OBI Campus

1.2. RUMUSAN PERMASALAHAN

Pada bangunan bentang lebar seringkali struktur sebagai arsitektur, dimana bentuk struktural adalah bentuk arsitekturalnya. Sehingga, seorang perancang (arsitek) sangat perlu memahami karakteristik material dan prinsip-prinsip perancangan strukturnya. Berdasarkan permasalahan di atas, maka pertanyaan penelitiannya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana korelasi bentuk arsitektural, bentuk struktural dan properti material pada bangunan lengkung linear dan lengkung terpusat ?
2. Bagaimana komparasi bentuk struktural – properti material pada struktur '*form-active*' dan '*semi-form-active*' ?

1.3. TUJUAN KHUSUS DAN TARGET LUARAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji rancangan struktur bambu pada bangunan lengkung berbentang lebar, ditinjau dari :

- Korelasi bentuk arsitektural, bentuk struktural dan properti material pada bangunan lengkung
- Komparasi bentuk struktural, dan properti material pada sistem struktur *form-active* dan *semi-form-active*

Target luaran dari penelitian ini adalah :

- Mengembangkan materi kuliah “Struktur dan Konstruksi Bangunan Bentang Lebar”
- Penulisan makalah pada jurnal arsitektur

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam mendesain perancangan bangunan bentang lebar dengan menggunakan struktur bambu, terutama untuk bangunan lengkung.

1.5. URGENSI PENELITIAN

Bambu sebagai material lokal yang banyak di Indonesia, namun masih dianggap material kelas tiga. Sedangkan bambu berpotensi sebagai material struktur bangunan terutama bentang lebar. Material ini memiliki sifat fleksibel yang dapat membuat bentukan baru dalam arsitektur. Bambu juga memiliki nilai estetika tersendiri. Penelitian mengenai penerapan bambu sebagai struktur bentang lebar yang kaitannya dengan *struktur form active* dan *non-form active* pada bangunan lengkung bentang lebar sebagai dasar mendesain terutama pada konsep struktur sebagai bentuk. Dan juga dengan penelitian ini dan publikasinya, diharapkan bambu sebagai material lokal dapat terus dikembangkan bukan ditinggalkan.

1.6. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif korelasi & komparatif yang dianalisa secara kualitatif. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan observasi multi - objek studi. Studi literatur digunakan dalam pengumpulan dasar-dasar teori struktur bangunan bentang lebar dengan material bambu. Pengamatan objek studi berupa observasi bentuk arsitektural dan bentuk strukturalnya serta properti material bambu yang digunakan pada objek penelitiannya. Semua data objek studi yang diperoleh melalui studi literatur dan observasi objek studi kemudian dikaji berdasarkan dasar-dasar teori yang telah diperoleh sebelumnya.

OBJEK PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan 4 objek penelitian yang akan dideskripsikan secara korelasi dan komparasi. 4 Objek penelitian tersebut adalah :

- “The Great Hall”, OBI Eco Campus, Jatiluhur, Jawa Barat
- “Mepantigan”, Green School, Bali
- “The Heart of Green School”, Bali
- “Mandala Utama”, Puri Ahimsa, Bali



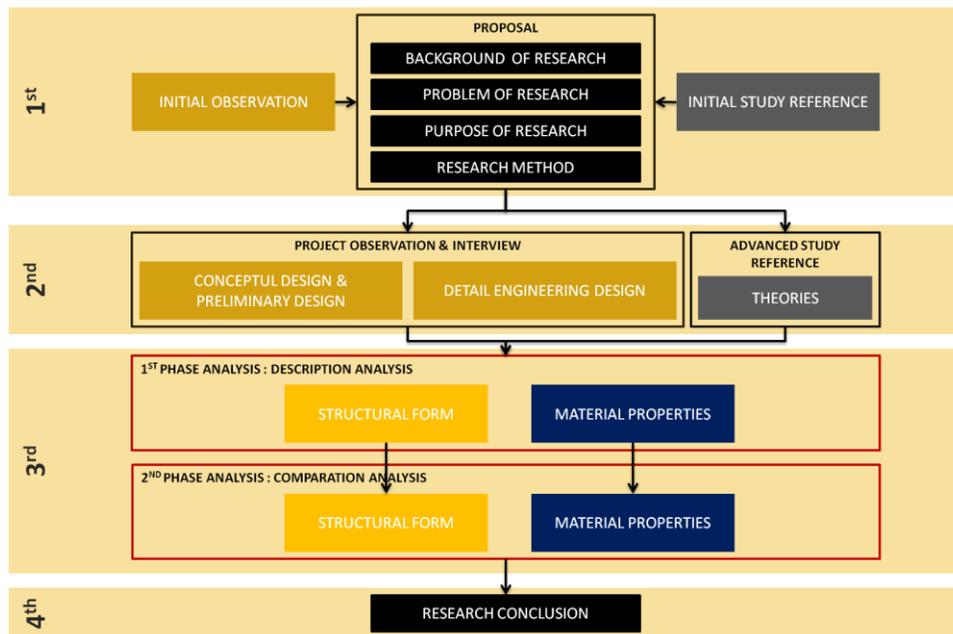
Gambar 1.3 Objek Penelitian :

“The Great Hall”, OBI Eco Campus, Jatiluhur, Jawa Barat, “Mepantigan”, Green School, Bali, “The Heart of Green School”, Bali, “Mandala Utama”, Puri Ahimsa, Bali

KERANGKA PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian:

1. Menyusun proposal penelitian melalui observasi awal dan studi literatur awal.
2. Studi literatur dan observasi objek studi serta wawancara dengan pihak terkait.
3. Tahap analisis, yang terdiri dari 2 tahap, yaitu :
 - a. Tahap 1 analisis deskripsi-korelasi, mengkaji masing-masing variabel terhadap masing-masing objek studi dan mengkaji hubungan sebab-akibat antar sub-variabel
 - b. Tahap 2 analisis komparasi, mengkaji komparasi aplikasi tipe struktur ‘form-active’ dan ‘semi-form-active’ pada objek-objek penelitian.
4. Tahap penarikan kesimpulan.



Bagan 1.1 Kerangka Pemikiran

METODE PENGUMPULAN DATA

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

1. Data yang diambil dari hasil analisa pada penelitian sebelumnya.
2. Gambar kerja dari setiap objek penelitian
3. Pengamatan langsung terhadap objek penelitian

VARIABEL PENELITIAN

Terdiri dari 3 variabel utama :

1. Bentuk arsitektural, memiliki sub variabel sebagai berikut:
 - a. Bentuk dan konfigurasi dasar
 - b. Selubung bangunan
2. Bentuk struktural, memiliki sub variabel sebagai berikut:
 - a. *Global structural form*, (sistem struktur, geometri elemen struktur, konfigurasi penyaluran beban)
 - b. *Local structural form*, (artikulasi elemen-elemen struktural, detail struktural, proporsi)
3. Properti material, memiliki sub variabel sebagai berikut:
 - a. *Structural properties*,
 - b. *Technological properties*,
 - c. *Geometrical properties*,

TAHAPAN ANALISIS

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini dibagi atas 2 tahap, yaitu:

1. **TAHAP 1: ANALISIS DESKRIPSI-KORELASI**
Mengkaji masing-masing variabel dan sub variabel terhadap objek penelitian. Kemudian dilihat korelasi kausalnya. Hasil analisis tahap 1 ini yang akan digunakan sebagai data pada tahap analisis selanjutnya.
2. **TAHAP 2: ANALISIS KOMPARASI**
Menganalisis komparasi aplikasi tipe struktur '*form-active*' dan '*semi-form-active*' pada objek-objek penelitian.

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 dan manfaat penelitian, urgensi penelitian, metode penelitian dan sistematika pembahasan.

BAB 2 : BAMBUI SEBAGAI MATERIAL STRUKTUR BANGUNAN

Bab ini berisi tentang studi literatur yang berkaitan dengan bambu sebagai material struktur bangunan

BAB 3 : BENTUK STRUKTURAL

Bab ini berisi tentang studi literatur yang berkaitan dengan penjabaran bentuk struktural.

BAB 4 : KOMPARASI BENTUK ARSITEKTURAL BANGUNAN LENGKUNG

Bab ini berisi tentang hasil analisis deskripsi korelasi kausal – komparasi bentuk arsitektural dari ke-4 objek penelitian.

BAB 5 : KOMPARASI BENTUK STRUKTURAL PADA BANGUNAN LENGKUNG

Bab ini berisi tentang hasil analisis deskripsi korelasi kausal – komparasi bentuk struktural dari ke-4 objek penelitian.

BAB 6 : KOMPARASI PROPERTI MATERIAL BAMBUI PADA BANGUNAN LENGKUNG

Bab ini berisi tentang hasil analisis deskripsi korelasi kausal – komparasi properti material bambu dari ke-4 objek penelitian.

BAB 7 : KESIMPULAN

BAB 2 | BAMBU SEBAGAI MATERIAL STRUKTUR BANGUNAN

2.1. JENIS BAMBU UNTUK KONSTRUKSI

Jenis bambu yang umum digunakan sebagai material konstruksi dan dipasarkan di Indonesia: ¹

- **Bambu tali/ apus** (*Gigantochloa apus*)
Bambu yang amat liat dengan jarak ruas sampai 65 cm dan dengan garis tengah 40 – 80 mm, serta panjang batang 6 – 13 m.
- **Bambu petung** (*Dendrocalamus asper*)
Bambu yang amat kuat, dengan jarak ruas pendek tetapi dindingnya tebal sehingga tidak begitu liat. Garis tengah bambu petung 80 – 130 mm, panjang batang 10 – 20 m. Jenis bambu petung yang paling umum ada dua, yaitu petung hijau dan petung hitam.
- **Bambu duri/ ori** (*Bambusa blumeana*)
Bambu ini juga kuat dan besar seperti bambu petung. Jarak ruas pendek dengan dinding tebal, bagian luar (kulit) lebih halus dan licin dibandingkan dengan bambu lainnya, selain itu juga lebih keras. Garis tengah bambu ini 75 – 100 mm, panjang batang 9 – 18 m.
- **Bambu wulung/ hitam** (*Gigantochloa verticillata*)
Bambu dengan jarak ruas panjang seperti bambu tali/ apus, tetapi tebalnya mencapai 20 mm dan tidak liat (getas) serta bergaris kuning muda. Garis tengah bambu ini 40 – 100 mm, panjang batang 7 – 18 m.



Gambar 2.1. Bambu apus/tali, Bambu petung, Bambu duri/ori, Babu wulung/hitam.

Sumber: <http://xdesignmw.wordpress.com/>, <http://rossebambu.wordpress.com>,
<http://bimbinganmu.blogspot.com>, <http://xdesignmw.wordpress.com>

¹ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

2.2. SIFAT MEKANIKA BAMBU²

Sifat mekanika bambu tergantung pada jenis bambu, umur bambu waktu penebangan, kelembapan pada batang bambu, bagian batang bambu yang digunakan serta letak dan jarak ruasnya masing-masing. Sifat mekanika bambu untuk konstruksi bangunan bambu:

- **Berat Jenis** : **700 kg/m³**
Berat jenis bambu berbeda-beda menurut jenis bambu dan pada bagian batang mana yang diperhatikan serta pada bagian dinding batang dalam atau bagian luar. Berat jenis cepat turun sesuai proses pengeringan.
- **Kekuatan tarik** : **29,4 N/mm²**
Gaya tarik bambu berbeda-beda tergantung pada bagian dinding batang dalam atau bagian luar, garis tengah batang (batang yang langsing memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang lebih tinggi), serta pada bagian batang mana yang digunakan karena bagian kepala memiliki kekuatan terhadap gaya tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian batang kaki.
- **Kekuatan tekan** : **7,85 N/mm²**
Kekuatan tekan bambu untuk menahan gaya-gaya tekan berbeda-beda pada bagian ruas dan bagian di antara ruas batang bambu. Bagian batang tanpa ruas memiliki kekuatan terhadap gaya tekan yang lebih tinggi daripada batang bambu yang beruas.
- **Kekuatan geser** : **2,45 N/mm²**
Kekuatan geser bambu berbeda-beda tergantung tebalnya dinding batang bambu serta pada bagian ruas atau tanpa ruas batang bambu. Bagian batang tanpa ruang memiliki kekuatan terhadap gaya geser lebih tinggi daripada batang bambu yang beruas
- **Kekuatan lentur** : **9,80 N/mm²**
Bambu merupakan bahan yang elastic, maka lebdutan yang terjadi sesuai kekuatan bahan menjadi agak tinggi (1/20). Hal ini perlu diperhatikan pada pembangunan gedung, dimana lendutan pada konstruksi biasanya tidak boleh melebihi 1/300 dari lebar bentang.
- **Modulus elastisitas** : **20 kN/mm²**
Batang bambu yang berbentuk pipa dan berbentuk langsing lebih menguntungkan dibandingkan batang yang utuh karena nilai kekuatannya lebih tinggi. Kepadatan serat kokoh pada bagian dinding luar batang bambu meningkatkan kekuatan maupun elastisitas.

² Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

2.3. PENGOLAHAN BENTUK ELEMEN STRUKTURAL

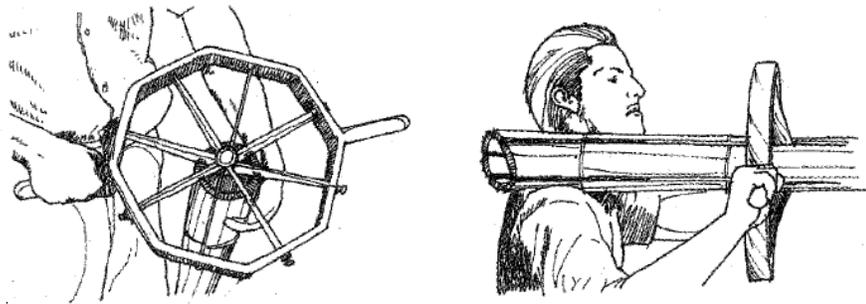
Untuk mencapai bentuk yang disesuaikan dengan kebutuhan, maka ada beberapa pengolahan bentuk yang dapat digunakan :

2.3.1. BALOK TUNGGAL UTUH³

Balok tunggal bambu yang paling sederhana memiliki lebar bentang maksimal 4 meter dan sangat terbatas. Akibatnya, sering dipilih konstruksi bambu dengan banyak tiang sebagai tumpuan penyangga yang berjarak maksimal 3 meter.

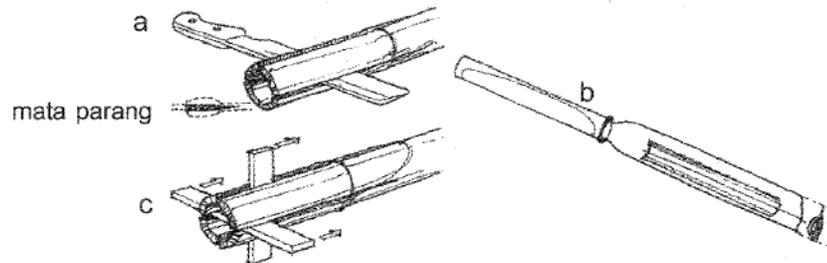
2.3.2. BILAH BAMBU⁴

Batang bambu yang diolah menjadi bilah dapat digolongkan menurut diameternya. Bambu dengan diameter yang besar akan membutuhkan peralatan khusus sedangkan batang yang diameternya kecil dapat dibelah dengan parang khusus



Gambar 2.2. Membelah bambu dengan diameter besar

Sumber: Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7. Hlm.16



Gambar 2.3. Membelah bambu dengan diameter kecil

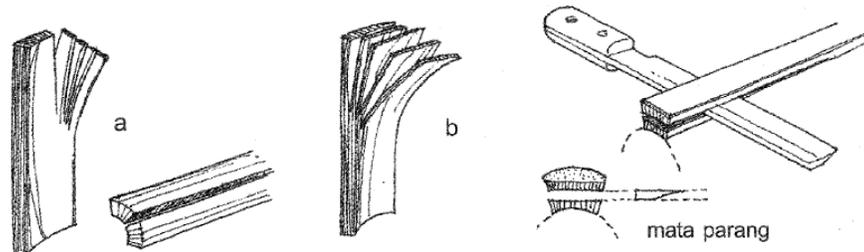
Sumber: Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7. Hlm.17

³ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

⁴ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

2.3.3. TUTU⁵

Bilah bambu diambil kulitnya, kemudian dibelah arah tangensial sehingga menjadi bagian-bagian setebal 1-5mm. Untuk pekerjaan halus bilah bambu dapat dibelah arah radial juga.

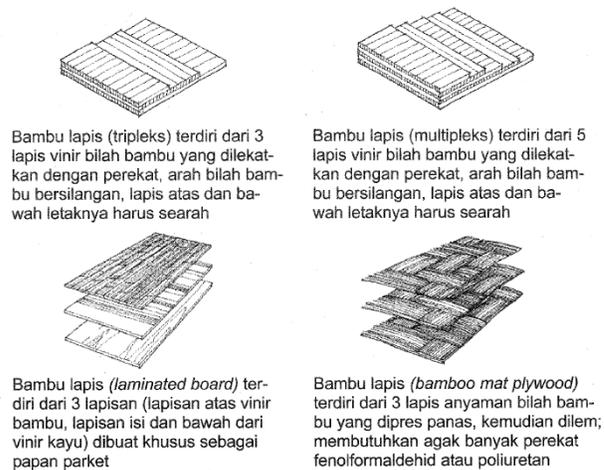


Gambar 2.4. Membelah bilah bambu untuk menghasilkan tutu

Sumber: Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7. Hlm.17

2.3.4. BAMBU LAPIS⁶

Bambu lapis adalah papan/panel buatan yang terdiri dari susunan bilah bambu sejajar dan melintang atau anyaman bilah bambu sejajar dan melintang atau anyaman bilah bambu dengan diikat oleh perekat tertentu dan jumlah lapisannya harus ganjil. Karena bambu secara kimiawi berbeda dengan kayu, maka dapat lebih mudah dilem. Walaupun demikian, kulit luar bambu tidak dapat dilem, dan bambu lapis dari anyaman membutuhkan banyak perekat.



Gambar 2.4. Bambu Lapis

Sumber: Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7. Hlm.20

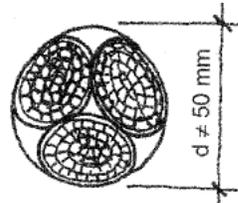
⁵ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

⁶ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

2.3.5. TALI BAMBU⁷

Sampai dengan umur 18 bulan, batang bambu dapat dikupas karena kulit dan permukaan dinding ruas dalamnya masih lunak. Strip kulit yang dikupas dapat digunakan langsung sebagai pengikat.

Untuk membuat tali bambu, strip kulit dijalin dan dililit menjadi tali. Setiap utas tali dirangkaikan dengan strip dinding ruas dalam (yang agak lunak) dan dengan strip kulit yang dikupas (yang memiliki daya tarik lebih tinggi) untuk bagian luar utas tali tersebut. Tiga utas tali tersebut dijalin sehingga membentuk tali bambu berdiameter +/- 50 mm yang dapat menerima beban > 5 ton.



Gambar 2.5 Tali bambu

Sumber: Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Hlm.21

2.3.6. MELENGKUNGAN BAMBU⁸

Karena bambu memiliki karakteristik elastisitas yang tinggi maka bambu akan mudah dilengkungkan. Ada 2 metode yang digunakan untuk melengkungkan bambu yaitu *cold bending* dan *hot bending*.

COLD BENDING

Bambu dapat dibuat menjadi bilah yang kemudian disatukan dengan lem atau ikatan.

HOT BENDING

Ketika dipanaskan (>150° C), maka bambu akan menjadi lunak dan fleksibel. Perubahan bentuk bias dilakukan secara paralel, diagonal atau transversal ke arah serat. Setelah didinginkan, bambu akan bertahan dengan bentuk barunya.



Gambar 2.6 Hot Bending Process

Sumber: <http://whisperingwindsbamboo.wordpress.com>

⁷ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

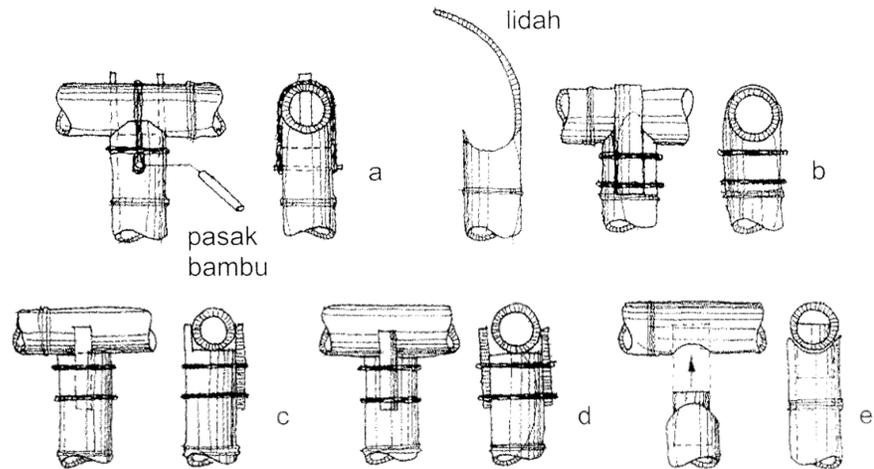
⁸ IL 31: Bambus-Bamboo. KARL KRAMER VERLAG STUTTGART

2.4. SAMBUNGAN⁹

Bambu sebagai bahan bangunan berbentuk pipa menuntut konstruksi sambungan yang sangat berbeda jika dibandingkan dengan kayu. Paku biasanya membelah dan merusak bambu, kecuali jika dibor terlebih dahulu. Alat sambungan yang cocok untuk bambu adalah pengikatan dengan bermacam tali.¹⁰

2.4.1. TIPE SAMBUNGAN ROL

Rol merupakan jenis hubungan yang mengizinkan pergerakan elemen struktur secara horizontal. Pada jenis hubungan ini beban yang ditahan hanya berupa beban vertikal. Penerapan hubungan Rol pada konstruksi bambu dapat ditemui pada sambungan tiang dan kuda-kuda penopang atau peran (gording).



Gambar 2.7 Penerapan hubungan rol pada sambungan bambu

Sumber: Heinz, Frick. 2004. hlm.25

Sambungan-sambungan dengan hubungan rol dapat dilakukan dengan cara:

- a) Sambungan dengan purus berganda terikat;
- b) Sambungan dengan lidah yang terikat;
- c) Tiang dengan purus dan lidah pengapit yang terikat;
- d) Sambungan dengan lidah pengapit yang terikat;
- e) Sambungan dengan purus kayu.

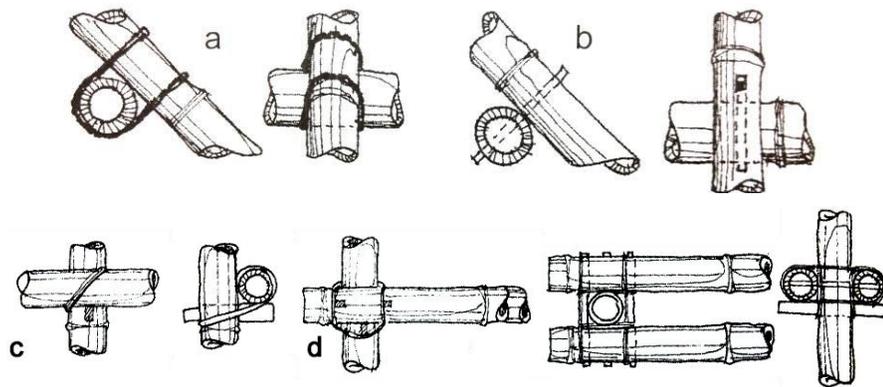
⁹ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

¹⁰ Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*, Seri Konstruksi Arsitektur 7, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

2.4.2. TIPE SAMBUNGAN SENDI

Secara umum, sambungan pada struktur bambu banyak menggunakan jenis hubungan **Sendi**. Jenis hubungan Sendi memungkinkan dalam menahan gaya vertikal dan horizontal, tetapi tidak dapat menahan rotasi akibat momen. Penerapan hubungan Sendi pada konstruksi bambu dapat ditemui pada pemasangan kaso pada gording, dan juga pada beberapa sambungan kolom dan balok yang lebih rumit. Sambungan-sambungan tersebut dapat dilakukan dengan cara:

- a) Dengan pengikatan;
- b) Dengan pasak bambu, sedangkan sambungan pada kolom dan balok yang lebih rumit;
- c) Pengikatan balok lantai pada kolom dengan pasak kayu;
- d) Pengikatan balok lantai berganda pada kolom dengan pasak kayu.



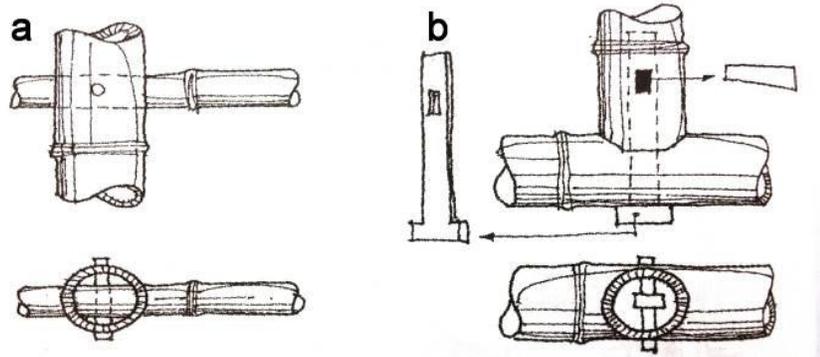
Gambar 2.8 Penerapan hubungan sendi pada sambungan bambu

Sumber: Heinz, Frick. 2004. hlm.26

2.4.3. TIPE SAMBUNGAN JEPIT

Hubungan jepit merupakan jenis hubungan yang paling kaku dimana elemen struktur tidak hanya dapat menahan beban vertikal dan horizontal, tetapi juga dapat menahan rotasi atau momen. Hubungan **Jepit** pada konstruksi bambu dapat dicapai dengan menggunakan pasak. Sambungan dengan tersebut dilakukan dengan cara:

- a) Tembusan dengan pasak;
- b) Pasak wedokan dengan baji lanang.

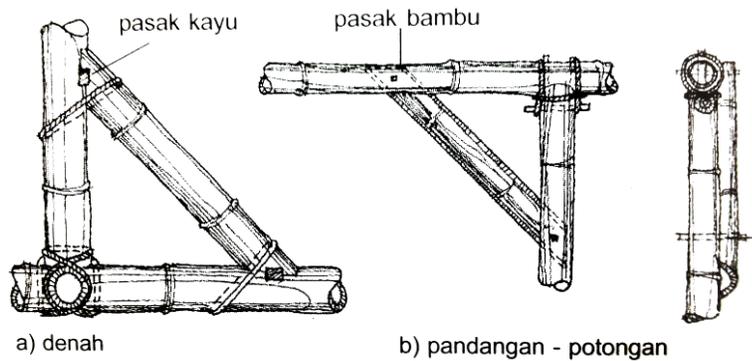


Gambar 2.9 Penerapan hubungan jepit pada sambungan bambu

Sumber: Heinz, Frick. 2004. hlm.24

Selain itu, hubungan Jepit pada bambu juga dapat ditemui pada konstruksi penopang—*bracing*, dengan cara:

- a) Penopang horizontal untuk memperkuat batang bantalan atau peran dinding pada tiang sudut;
- b) Penopang vertikal untuk menambah kekakuan dalam arah horizontal diantara kolom dan balok



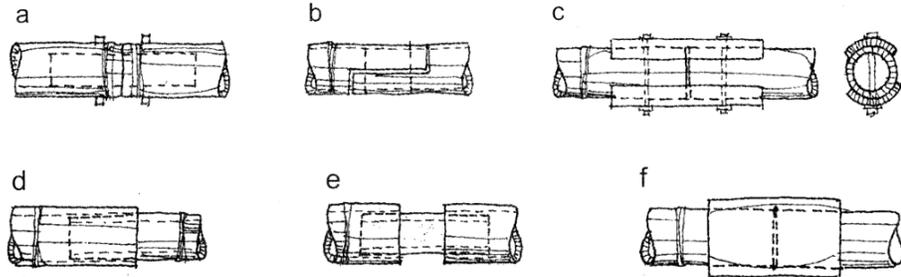
Gambar 2.10 Sambungan penopang - Bracing

Sumber: Heinz, Frick. 2004. hlm.26

2.4.4. TIPE SAMBUNGAN LAINNYA

SAMBUNGAN MEMANJANG

Sambungan memanjang dibutuhkan untuk batang bambu yang perlu diperpanjang.

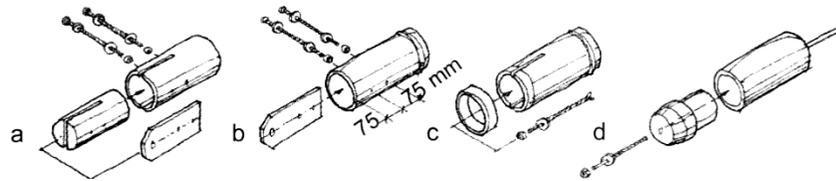


Gambar 2.11 Sambungan memanjang batang bambu:
(a) sambungan dengan kayu isian, (b) bibir lurus, (c) lidah pengapit
(d) sambungan sisipan, (e) pipa baja di dalam, (f) selongsong pipa lebih besar

Sumber: Frick, 2004, hlm. 24

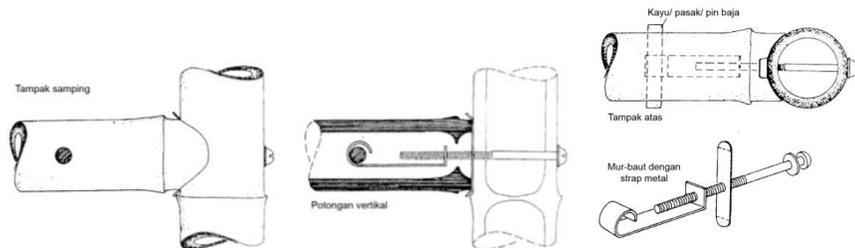
SAMBUNGAN PADA RANGKA BATANG

Sambungan-sambungan pada rangka batang merupakan sambungan yang menerima gaya tarik maupun tekan dari segala arah pada titik hubungannya. Dibutuhkan teknologi konstruksi sambungan lebih tinggi dan alat tambahan (baja, dsb.), khususnya untuk sambungan tarik. Sambungan dengan perilaku tekan saja dapat menggunakan sambungan bambu tradisional seperti pada nomor 2 di atas.



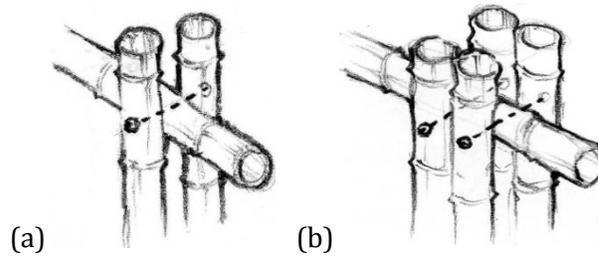
Gambar 2.12 Sambungan kombinasi dengan teknologi modern mur-baut

Sumber: Frick, 2004, hlm. 27



Gambar 2.13 Sambungan tarik dengan mur-baut dan strap metal

Sumber: Dunkelberg, 2000, hlm. 150

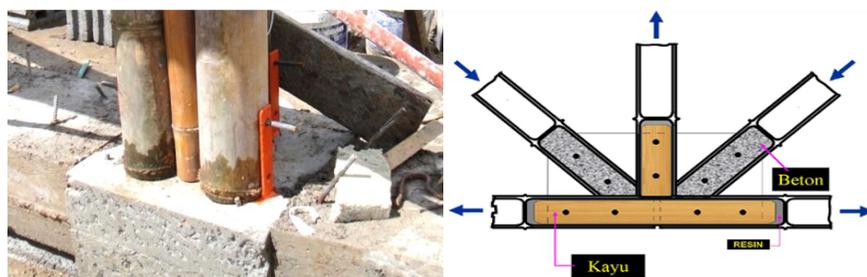


Gambar 2.14 Sambungan satu dan dua mur baut
 Sumber: Dunkelberg, 2000, hlm. 25 dan 288 (digambar ulang)

Kedua sambungan pada gambar 2.11 memiliki perilaku yang sama dengan sambungan tiang dan batang horizontal yaitu menerima beban. Bedanya, beban di sini ditanggung oleh mur-baut lalu disalurkan ke batang vertikal. Sambungan (b) dua mur-baut memiliki kekakuan lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan (a) satu mur-baut.

SAMBUNGAN DENGAN BETON

Untuk bangunan-bangunan bambu dengan dimensi yang cukup besar, dibutuhkan pondasi yang kuat seperti bangunan-bangunan pada umumnya. Bambu tidak diperkenankan menyentuh tanah secara langsung (karena dapat busuk) sehingga dibutuhkan dudukan bagi rangka-rangka bambu tersebut berupa pedestal dari beton. *Joint* menggunakan tulangan besi yang diangkur. Beton juga dapat dikombinasikan juga dengan kayu sebagai *joint* pada bagian rangka bambu.

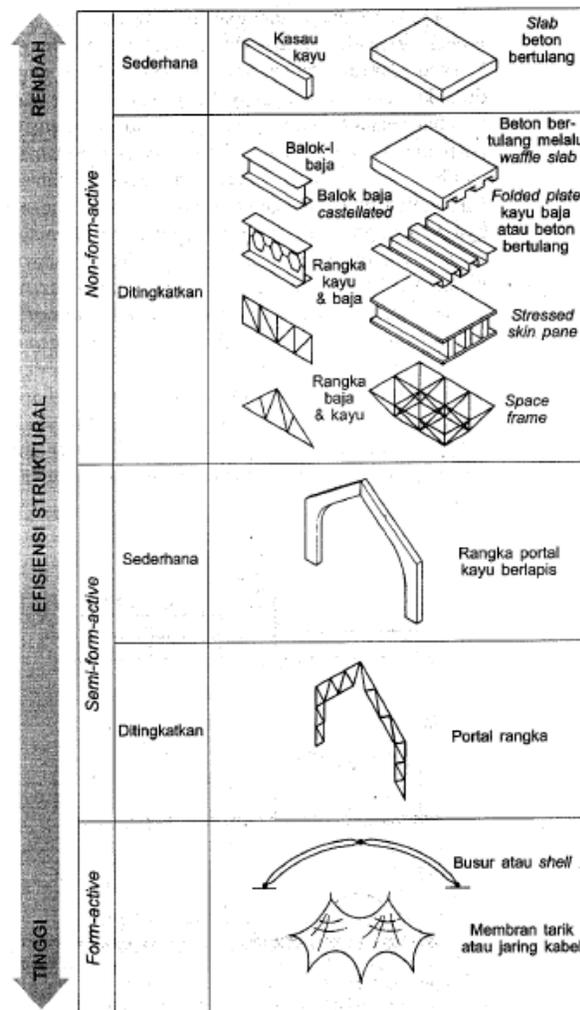


Gambar 2.15 Sambungan bambu dengan beton
 Sumber: <http://teachphilippines.blogspot.com/>,
<http://bamboeindonesia.wordpress.com/>

BAB 3 | BENTUK STRUKTURAL

3.1. STRUKTUR 'FORM-ACTIVE', 'SEMI-FORM-ACTIVE', DAN 'NON-FORM-ACTIVE'¹

Kategori utama dalam penyusunan sistem penggolongan struktur berkaitan dengan bentuk yang dapat digunakan untuk memperbaiki efisiensi struktur adalah : *Form-active*, *Semi-form-active* dan *Non-form-active*



Gambar 3.1. Tabel Form-Active, Semi-Form-Active, Non-Form-Active
Sumber: Macdonald, Angus J.. Structure and Architecture

¹ Macdonald, Angus J. Structure and Architecture

3.1.1. STRUKTUR 'FORM ACTIVE'

'Form-active' merupakan istilah untuk elemen struktur di mana bentuk sumbu longitudinal, dalam hubungannya dengan pola penerapan bebannya, sedemikian rupa sehingga gaya dalam adalah aksial.²

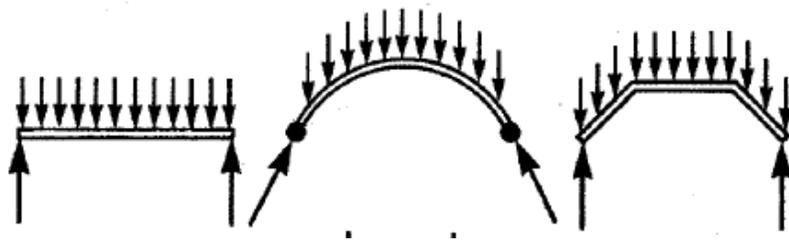
Material yang memiliki sifat fleksibel akan otomatis mengambil bentuk form-active ketika dibebani. Jika material yang memiliki sifat kaku maka elemen strukturnya harus dibuat sesuai dengan bentuk form-active yang sesuai ketika struktur dibebani. Dalam memikul beban elemen-elemen pada struktur *form-active* memikul jenis gaya dalam aksial (aksial tekan/aksial tarik). Bentuk *form-active*, berdasarkan potensinya, adalah jenis elemen struktur yang paling efisien, namun mempunyai bentuk geometri yang lebih rumit daripada jenis yang lain.

3.1.2. STRUKTUR SEMI-FORM-ACTIVE

Elemen pada jenis struktur semi form-active mengandung rentang jenis gaya dalam yang lengkap (gaya aksial, momen lentur dan gaya geser). Struktur *semi-form-active* mencapai efisiensi yang lebih rendah disbanding struktur *form-active* namun lebih tinggi disbanding struktur *non-form-active*.

3.1.3. STRUKTUR NON-FORM-ACTIVE

Sistem struktur yang termasuk dalam struktur ini adalah struktur *post-and-beam*. Sifat sambungan antar elemen sangat mempengaruhi kinerja struktur dan berdasarkan kriteria ini elemen-elemen tersebut dikatakan sebagai elemen tidak menerus dan elemen menerus. Dalam memikul beban elemen-elemen pada struktur *non-form-active* memikul jenis gaya dalam lentur. Struktur ini merupakan struktur yang paling tidak efisien.



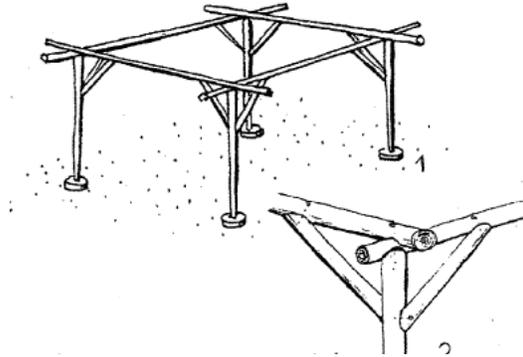
Gambar 3.2. Non-Form-Active, Form-Active, Semi-Form-Active
Sumber: Macdonald, Angus J.. Structure and Architecture

² Engel, H. *Structure System*. Deutsche Verlags Anstalt, Stuttgart, 1967

3.2. SISTEM STRUKTUR³

3.2.1. 'RIGID FRAME'

Struktur rangka dengan sambungan kaku. Sudut pertemuan kolom dan balok harus mampu menahan momen lentur.

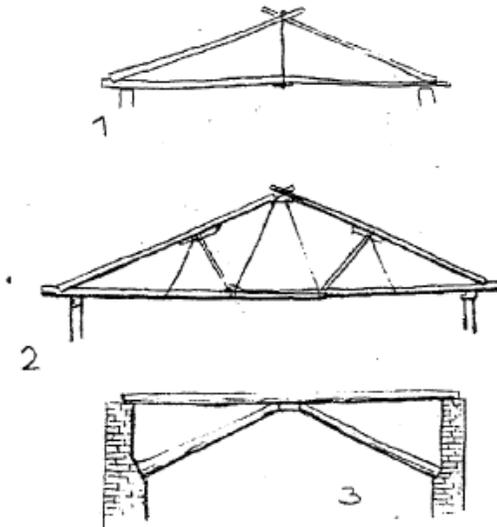


Gambar 3.3 Struktur Rangka Kaku

Sumber: IL 31 Bambus-Bamboo

3.2.2. FRAMEWORK

Struktur rangka batang dibentuk dari gabungan elemen garis yang membentuk pola segitiga untuk mencapai kekakuannya.



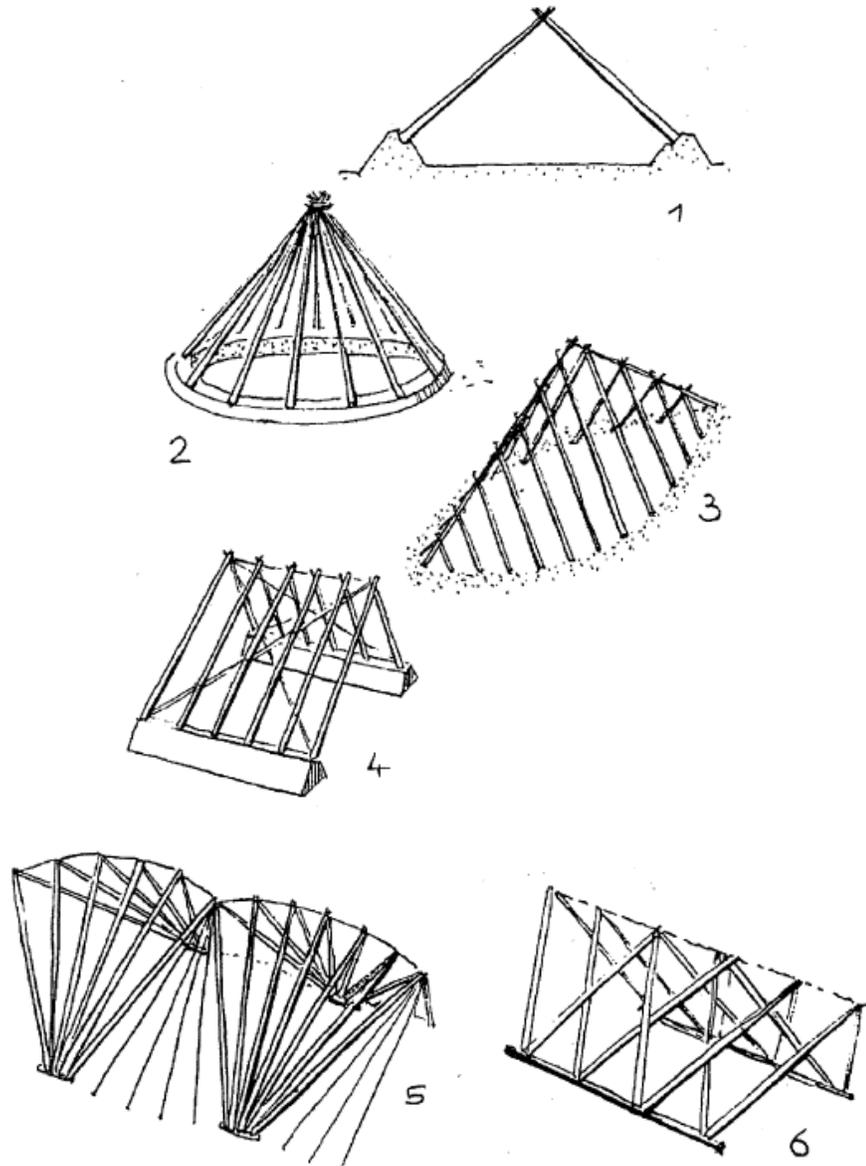
Gambar 3.4 Struktur Rangka Batang

Sumber: IL 31 Bambus-Bamboo

³ IL 31: Bambus-Bamboo. KARL KRAMER VERLAG STUTTGART

3.2.3. RAFTER ROOF

Atap kasau terdiri dari dua atau lebih batang yang digabung pada bagian atas, disusun menyebar dan ditempatkan pada pondasi. 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.

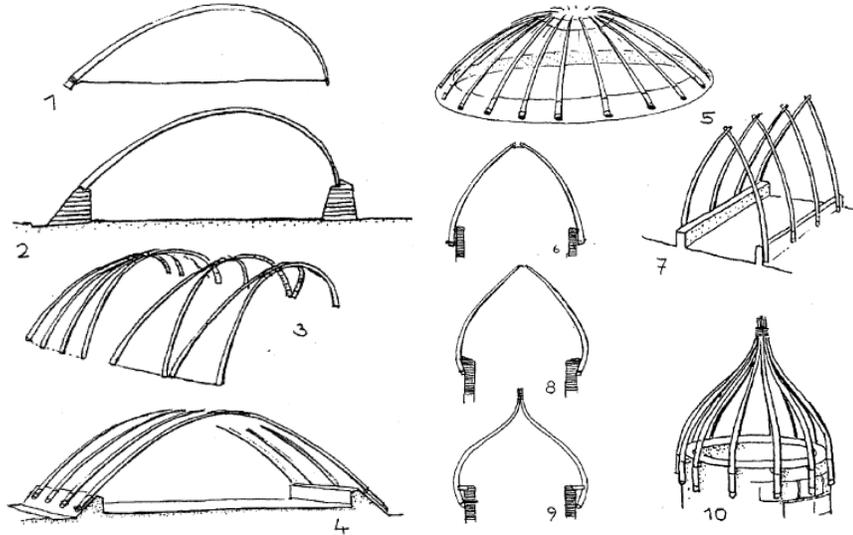


Gambar 3.5. *Rafter Roof / Atap kasau*

Sumber: IL 31 Bambus-Bamboo

3.2.4. ARCHES

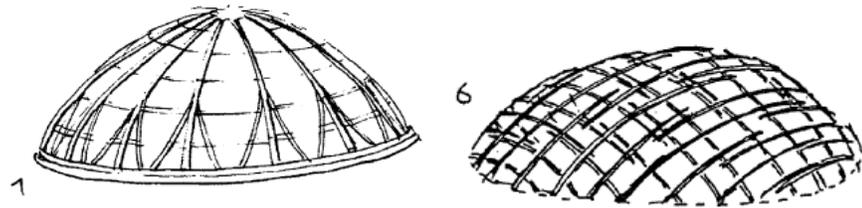
Batang bambu yang memiliki bentuk konikal akan melengkung dengan sendirinya jika kedua ujung bambu tersebut dihubungkan. Namun, hal tersebut akan membuat struktur busur yang tidak simetri karena radius akan berbeda saat batang tebal dan saat batang tipis.



Gambar 3.6 Arches / Busur
 Sumber: IL 31 Bambus-Bamboo

3.2.5. GRID SHELLS

Kemampuan kubah menahan beban akan meningkat jika menambahkan batang dalam berbentuk melingkar. Grid shell dengan kurva ganda akan mentransferkan beban dengan gaya aksial.

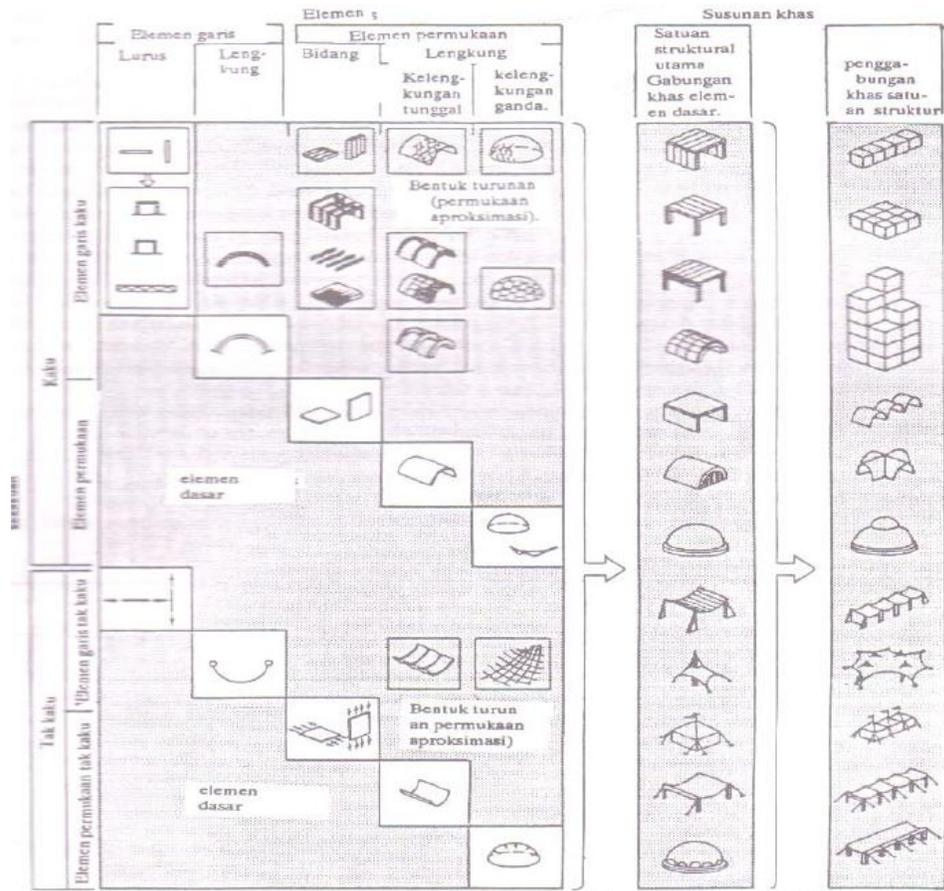


Gambar 3.7 Grid Shells
 Sumber: IL 31 Bambus-Bamboo

3.3. GEOMETRI ELEMEN STRUKTUR⁴

Berdasarkan geometri dasar, bentuk struktur dapat diklasifikasikan sebagai **bentuk elemen garis** dan sebagai **bentuk elemen bidang**. Bentuk elemen garis dapat dibedakan menjadi elemen garis lurus atau garis lengkung. Bentuk elemen bidang bias berbentuk elemen bidang lurus atau bidang lengkung (dengan kelengkungan tunggal atau ganda).

Pengklasifikasian berikutnya berdsarkan karakteristik kekakuan elemen struktur. **Elemen kaku** seabgai batang tidak mengalami perubahan bentuk yang cukup besar di bawah pengaruh gaya atau pada perubahan gaya yang diakibatkan oleh beban-beban. **Elemen fleksibel** cenderung mempunya bentuk tertentu pada suatu kondisi pembebanan, dan bentuk tersebut bias berubah secara drastic apabila pembebanan berubah.



⁴Gabungan ini hanya merupakan contoh, karena banyak sekali gabungan lain yang mungkin.

Gambar 3.8 Klasifikasi Berdasarkan Geometri dan Kekakuan Elemen
 Sumber: Schodek, Daniel. Structure

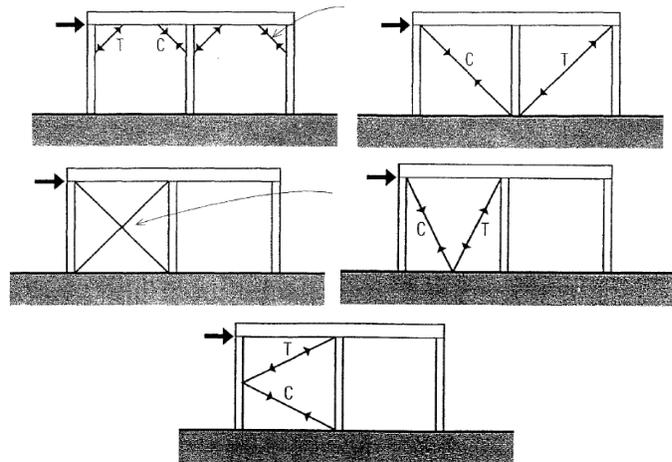
⁴ Schodek. Structure

3.4. ELEMEN STRUKTURAL PENAHAN GAYA LATERAL⁵

Secara umum, ada 3 elemen struktural penahan gaya lateral yang umum digunakan, yaitu : *Braced frames*, *Moment frames* dan *Shear wall*

3.4.1. BRACED FRAMES

'*Braced-frames*' terdiri dari rangka kolom dan balok yang dikakukan dengan menambah elemen diagonal yang membentuk konfigurasi segitiga yang kaku. Contoh variasi '*bracing system*' adalah *knee bracing*, *diagonal bracing*, *cross bracing*, *V-bracing*, *K-bracing*.



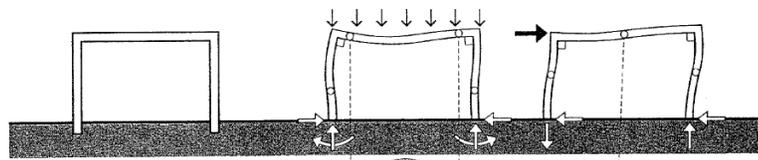
Gambar 3.9 Braced frames
Knee Bracing, Diagonal bracing, Cross bracing, V-bracing, K-bracing.

Sumber: Ching, Francis D.K.

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design

3.4.2. MOMENT FRAMES

Rangka yang menahan momen dengan sambungan kaku. Kekuatan dan kekakuan rangka tersebut sebanding secara proporsional terhadap dimensi balok dan kolom. Rangka yang menahan momen ini membutuhkan dimensi balok dan kolom yang lebih besar.



Gambar 3.10 Moment Frames

Sumber: Ching, Francis D.K.

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design

⁵ Ching, Francis D.K. Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design. Hlm. 41

3.4.3. SHEAR WALLS

Shear walls/ dinding geser adalah bidang vertikal kaku yang relatif tipis dan panjang. Dinding geser ini ditempatkan untuk menahan beban gravitasional dan beban lateral.

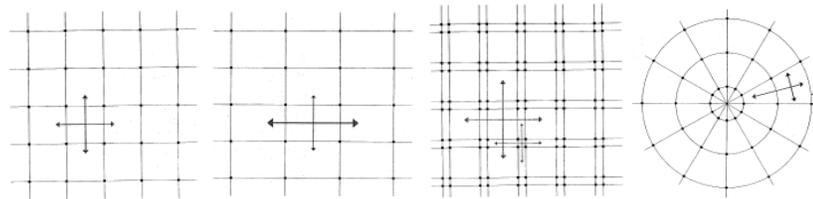
3.5. POLA KONFIGURASI ELEMEN STRUKTURAL⁶

Pola struktural adalah komposisi tiga dimensional yang terdiri dari pola konfigurasi elemen struktural vertikal, pola konfigurasi elemen struktural horizontal, dan pola konfigurasi elemen yang menahan gaya lateral.

3.5.1. POLA KONFIGURASI ELEMEN STRUKTURAL VERTIKAL

Grid struktur adalah pola dari garis-garis lurus untuk menempatkan elemen struktur vertikal. Berbagai macam pola-pola konfigurasi :

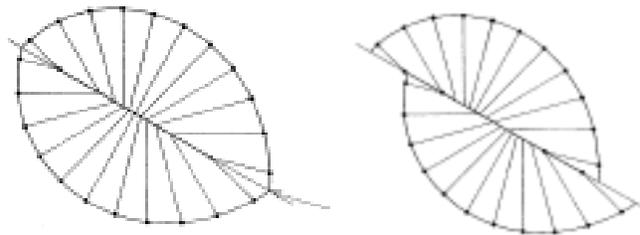
- Regular grid : grid persegi, grid persegi panjang, grid tartan, grid radial
- Grid irregular



Gambar 3.11 Regular Grid

Sumber: Ching, Francis D.K.

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design



Gambar 3.12 Irregular Grid

Sumber: Ching, Francis D.K.

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design

⁶ Ching, Francis D.K. Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design. Hlm. 41

3.5.2. POLA KONFIGURASI ELEMEN STRUKTURAL HORIZONTAL

Pola konfigurasi elemen struktural horizontal sangat berkaitan erat dengan pola penyaluran bebannya, yaitu: *One-way Spanning Systems* atau *Two-way Spanning Systems*

3.5.3. POLA KONFIGURASI ELEMEN STRUKTURAL PENAHAN GAYA LATERAL

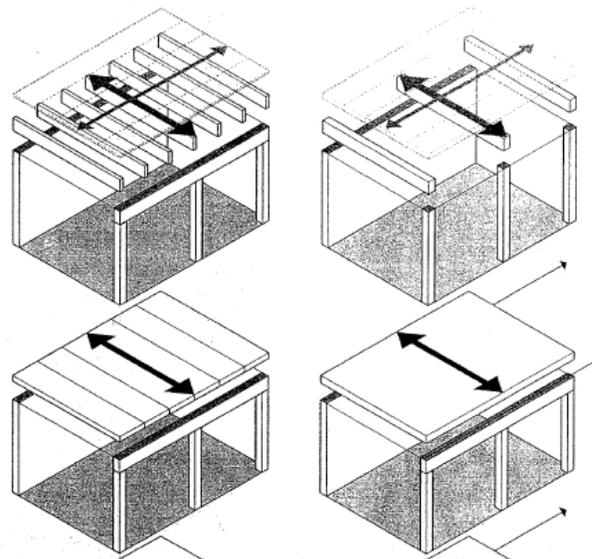
Pola konfigurasi elemen struktural penahan gaya lateral tergantung pada jenis elemen struktural penahan gaya lateral yang dipilih dan mengikuti pola konfigurasi elemen struktur vertikal/horisontalnya.

3.6. PENYALURAN BEBAN**3.6.1. PENYALURAN BEBAN 1 ARAH DAN 2 ARAH⁷**

Pola konfigurasi penyaluran beban dapat berupa 1 arah (*one way spanning systems*) dan 2 arah (*two way spanning systems*).

ONE-WAY SPANNING SYSTEM

Pola penyaluran beban 1 arah ini menyalurkan beban menuju 1 pasang paralel elemen struktur yang menopangnya.



Gambar 3.13 One Way Spanning

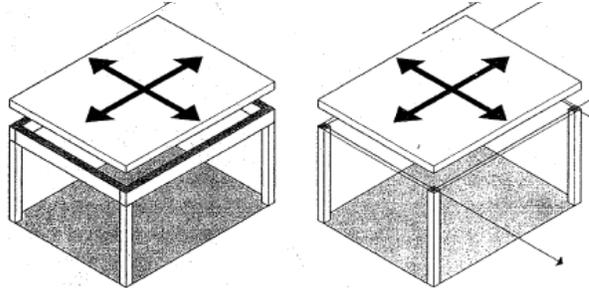
Sumber: Ching, Francis D.K.

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design

⁷ Ching, Francis D.K. Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design. Hlm. 41

TWO-WAY SPANNING SYSTEM

Pola penyaluran beban 2 arah ini menyalurkan beban menuju 2 pasang paralel elemen struktur yang menopangnya.



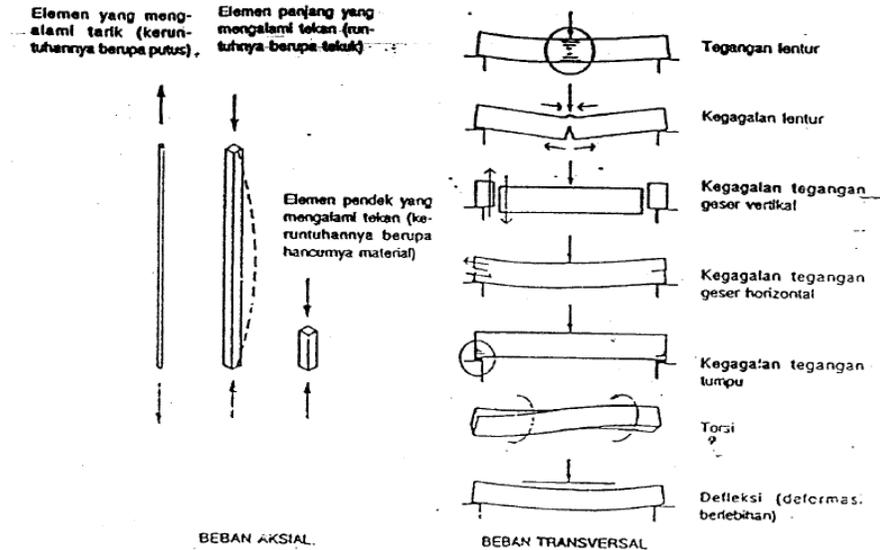
Gambar 3.13 Two Way Spanning

Sumber: Ching, Francis D.K.

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design

3.6.2. AKSIAL DAN TRANSVERSAL⁸

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 3.14 Aksial dan Transversal

Sumber: Schodek, Daniel. Structure

⁸ Schodek. Structure

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.

3.6.3. *GAYA DALAM*⁹

Gaya dalam yang paling umum adalah gaya tarik, tekan, lentur, geser dan torsi.

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.

LENTUR

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.

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.

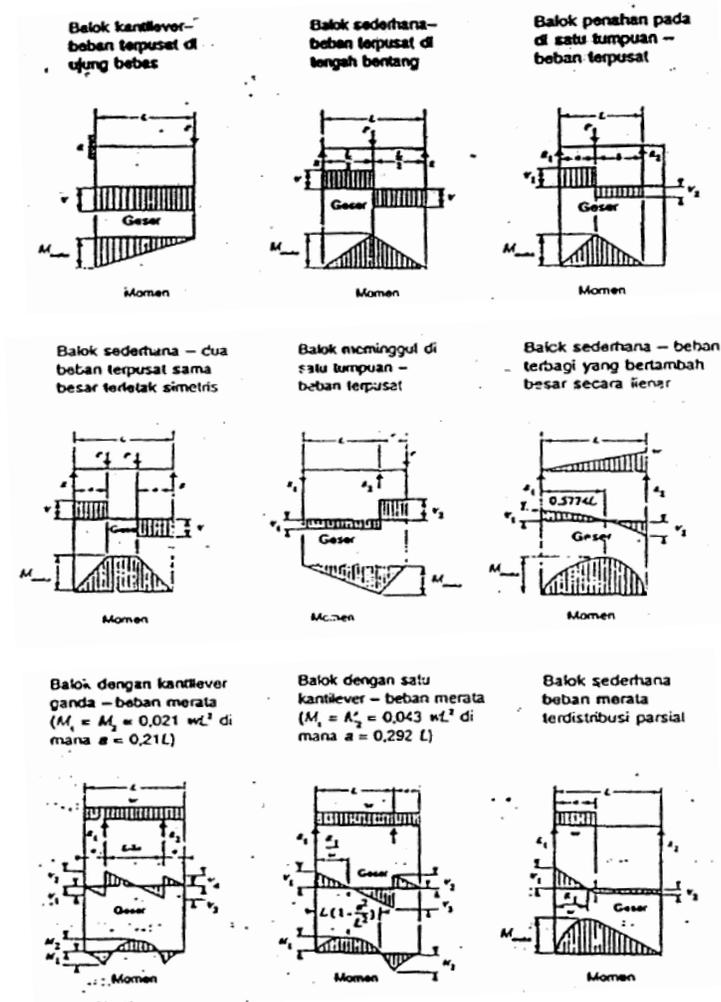
⁹ Schodek. Structure

TORSI

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

3.6.4. DISTRIBUSI MOMEN DAN GESER¹⁰

Diagram momen dan geser. Umumnya mempunyai variasi besar (dan tanda) pada momen dan geser yang terdapat pada penampang-penampang pada struktur. Untuk memvisualkan distribusi momen dan geser, besaran momen dan geser tersebut diplot secara grafis sehingga menghasilkan apa yang disebut dengan diagram momen lentur dan gaya geser.



Gambar 3.15 Diagram momen dan geser untuk beberapa struktur
Sumber: Schodek, Daniel. Structure

¹⁰ Schodek. Structure

3.7. TUMPUAN/SAMBUNGAN¹¹

Sifat gaya-gaya reaksi yang timbul pada benda yang dibebani bergantung pada bagaimana benda tersebut ditumpu atau dihubungkan dengan benda lain. Jenis tumpuan yang utama adalah : tumpuan sendi, tumpuan rol, dan tumpuan jepit.

TUMPUAN SENDI

Pada tumpuan sendi, titiknya membolehkan elemen strukturnya berotasi secara bebas, tetapi tidak dapat bertranslasi kea rah manapun. Dengan demikian titik tumpu tersebut diak dapat memberikan tahanan momen, tetapi dapat memberikan tahanan gaya pada arah manapun

TUMPUAN ROL

Tumpuan rol dapat juga berotasi dengan bebas dan dapat menahan tranlasi, tetapi hanya pada arha yang tegak lurus bidang tumpuan. Tumpuan rol ini tidak memberikan tahanan gaya dalam arah sejajar dengan bidang tumpuan.

TUMPUAN JEPIT

Tumpuan jepit dapat menahan rotasi maupun translasi kea rah manapun. Dengan demikian, tumpuan ini dapat memberikan tahanan momen dan gaya dalam arah sembarang.

Jenis tumpuan	Simbol	Jenis rotasi dan tranlasi yang dapat terjadi pada tumpuan	Jenis gaya yang dapat timbul pada tumpuan	Jenis gaya yang dapat timbul apabila tumpuannya miring
Tumpuan jepit				
Tumpuan sendi				
Tumpuan rol				
Tumpuan sederhana				
Tumpuan kabel				

Gambar 3.16 Jenis Tumpuan/sambungan

Sumber: Schodek, Daniel. Structure

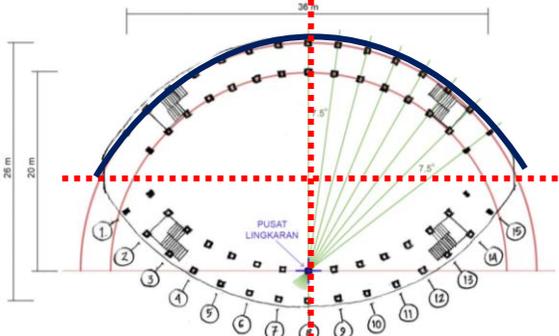
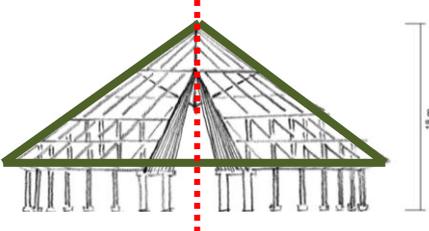
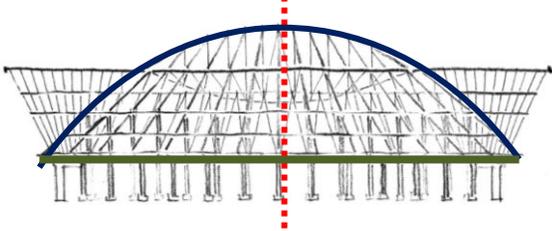
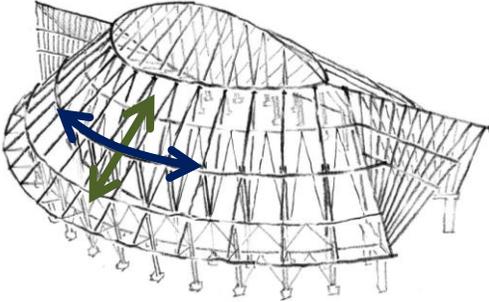
¹¹ Schodek. Structure

BAB 4 | KOMPARASI BENTUK ARSITEKTURAL BANGUNAN LENGKUNG

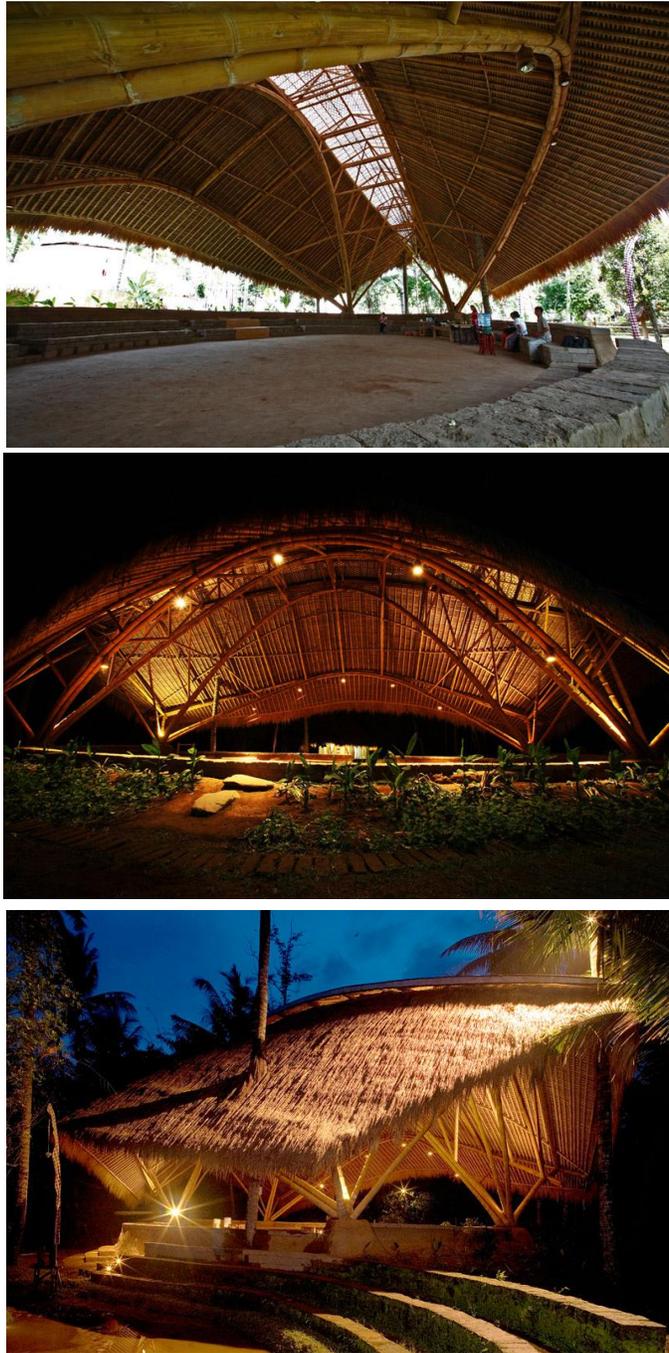
4.1. BENTUK ARSITEKTURAL 'THE GREAT HALL', OBI ECO CAMPUS, JATILUHUR, PURWAKARTA, JAWA BARAT



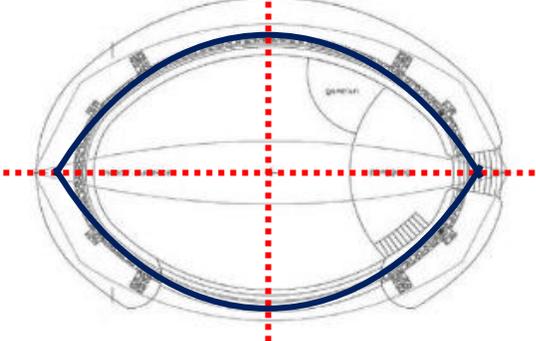
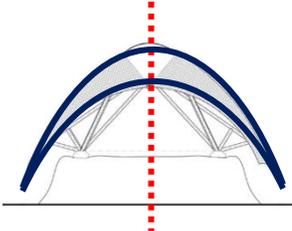
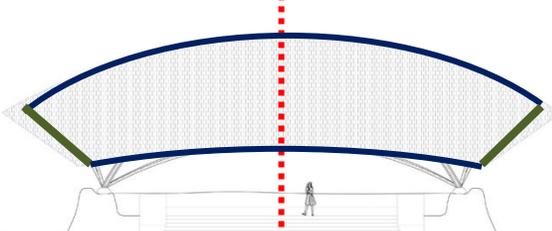
Gambar 4.1. The Great Hall, OBI Eco Campus
Sumber: <http://outwardboundindo.files.wordpress.com>

<p>Denah</p>	 <p>Gambar 4.2 Denah The Great Hall, OBI Eco Campus</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • Konfigurasi: Radial – Linear • 2 sumbu : sumbu x lebih dominan daripada sumbu y. (simetri)
<p>Tampak</p>	 <p>Gambar 4.3 Tampak (sumbu Y) The Great Hall, OBI Eco Campus</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lurus • 1 sumbu (simetri)
	 <p>Gambar 4.4 Tampak (sumbu X) The Great Hall, OBI Eco Campus</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • 1 sumbu (simetri)
<p>Selubung</p>	 <p>Gambar 4.5 Isometri The Great Hall, OBI Eco Campus</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung 1 arah

4.2. BENTUK ARSITEKTURAL 'MEPANTIGAN, GREENSCHOOL, BALI



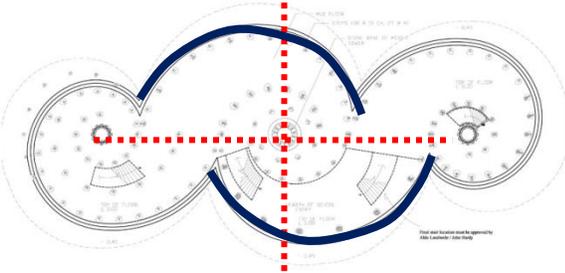
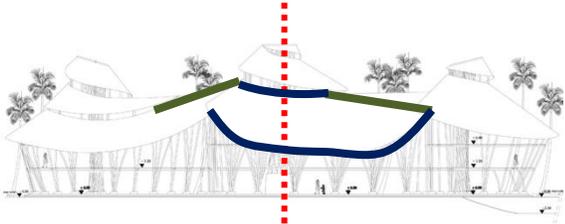
Gambar 4.6. Mepantigan, Green School
Sumber: <http://ibuku.com>

<p>Denah</p>	 <p>Gambar 4.7 Denah Mepantigan, Green School</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • Konfigurasi: Radial – Linear • 2 sumbu : sumbu x lebih dominan daripada sumbu y. (simetri)
<p>Tampak</p>	 <p>Gambar 4.8 Tampak (sumbu Y) Mepantigan, Green School</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • 1 sumbu (simetri)
	 <p>Gambar 4.9 Tampak (sumbu X) Mepantigan, Green School</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • 1 sumbu (simetri)
<p>Selubung</p>	 <p>Gambar 4.10 Perspektif Mepantigan, Green School</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung 2 arah (synclastic)

4.3. BENTUK ARSITEKTURAL 'HEART OF GREEN SCHOOL', BALI



Gambar 4.11. 'Heart of Green School'
Sumber: <http://www.designboom.com>

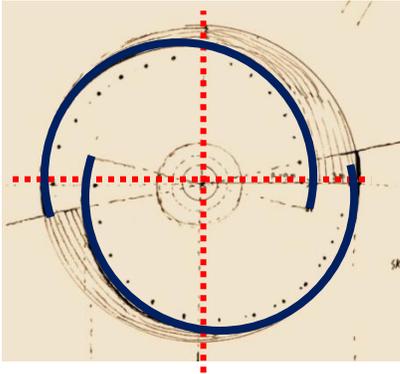
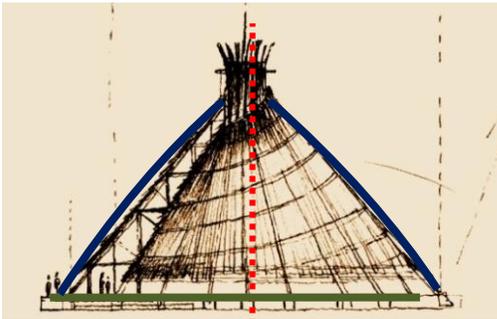
<p>Denah</p>	 <p>Gambar 4.12 Denah 'Heart of Green School'</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • Konfigurasi: Terpusat • 2 sumbu : sumbu x lebih dominan daripada sumbu y. (simetri-asimetri)
<p>Tampak</p>	 <p>Gambar 4.13 Tampak (sumbu Y) 'Heart of Green School'</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • 1 sumbu (asimetri)
<p>Tampak</p>	 <p>Gambar 4.14 Tampak (sumbu X) 'Heart of Green School'</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • 1 sumbu (asimetri)
<p>Selubung</p>	 <p>Gambar 4.15 Perspektif 'Heart of Green School'</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung 1 arah

4.4. BENTUK ARSITEKTURAL 'MANDALA AGUNG', PURI AHIMSA, BALI



Gambar 4.16. 'Mandala Agung', Puri Ahimsa, Bali

Sumber: <http://fivelements.org>

<p>Denah</p>	 <p style="text-align: center;">Gambar 4.17 Denah 'Mandala Agung', Puri Ahimsa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • Konfigurasi: Terpusat • 2 sumbu sama kuat (simetri-asimetri)
<p>Tampak</p>	 <p style="text-align: center;">Gambar 4.18 Tampak (sumbu X) 'Mandala Agung', Puri Ahimsa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung • 1 sumbu (asimetri)
<p>Selubung</p>	 <p style="text-align: center;">Gambar 4.19 Perspektif 'Mandala Agung', Puri Ahimsa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk Lengkung 2 arah (synclastic)

4.5. KOMPARASI BENTUK ARSITEKTURAL

	“The Great Hall” OBI Campus	“Mepantigan” Green School	“Heart of Green School”	“Mandala Agung”, Puri Ahimsa
Denah				
Geometri	Lengkung			
Konfigurasi	Radial-Linear		Terpusat	
Sumbu	2 sumbu yang tidak sama kuat Simetri-2arah		2 sumbu yang sama kuat Simetri-Asimetri	
Tampak				
Geometri	Lurus-Lengkung	Lengkung-lengkung		
Konfigurasi	Simetri-2arah		Asimetri	
Selubung				
Geometri	Lengkung 1 arah	Lengkung 2 arah (synclastic)	Lengkung 1 arah	Lengkung 2 arah (synclastic)

Kesimpulan:

1. Semua denah dari bangunan yang dijadikan objek studi berbentuk lengkung.
2. Bentuk denah lengkung dapat terbentuk dari :
 - a. konfigurasi radial-linear, memiliki sumbu 2 arah yang tidak sama kuat
 - b. konfigurasi terpusat, memiliki sumbu 2 arah yang sama kuat
3. Bentuk denah simetri akan menghasilkan tampak dan selubung yang simetri. Sedangkan bentuk denah simetri-asimetri akan menghasilkan tampak dan selubung yang asimetri
4. Baik bentuk dengan konfigurasi radial-linear atau terpusat dapat membentuk selubung bidang lengkung 1 arah atau 2 arah (synclastic)

BAB 5 | KOMPARASI BENTUK STRUKTURAL PADA BANGUNAN LENGKUNG

Kajian bentuk struktural sebuah bangunan dapat ditinjau melalui dua sub-variabel utamanya, yaitu : *global structural form* dan *local structural form*.

GLOBAL STRUCTURAL FORM

merupakan gambaran bentuk struktural yang menyeluruh pada sebuah bangunan mengenai :

- Sistem struktur
- Geometri struktur
- Penyaluran beban

LOCAL STRUCTURAL FORM

merupakan gambaran yang lebih detail mengenai bentuk-bentuk elemen struktural pada sebuah bangunan, yang dapat dikaji melalui :

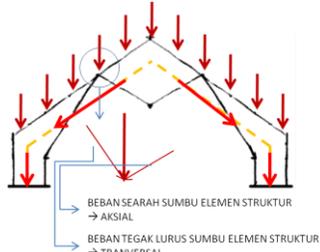
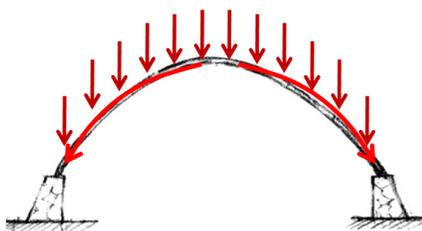
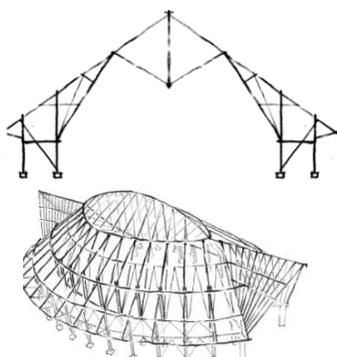
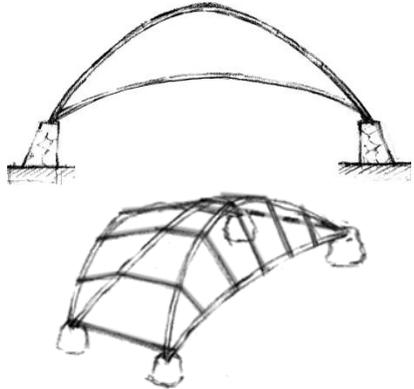
- Artikulasi elemen-elemen struktural
- Detail struktur
- Proporsi struktur

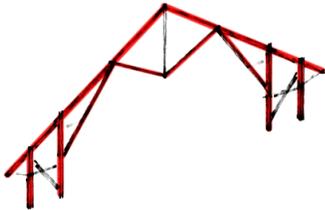
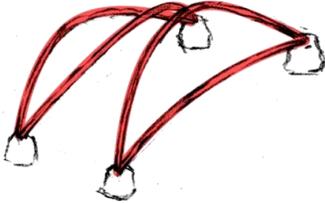
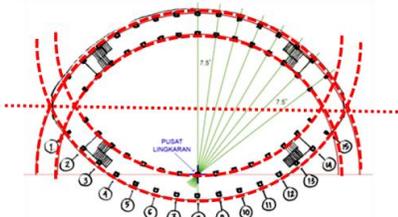
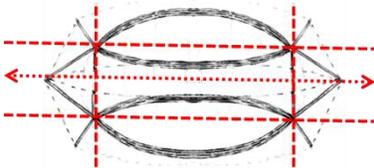
Berikut ini adalah analisa deskripsi dan komparasi bentuk struktural objek penelitian yang akan diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama. Pengklasifikasian dilakukan berdasarkan pada konfigurasi bentuk denah objek penelitian tersebut (lihat pada bab 4), yaitu :

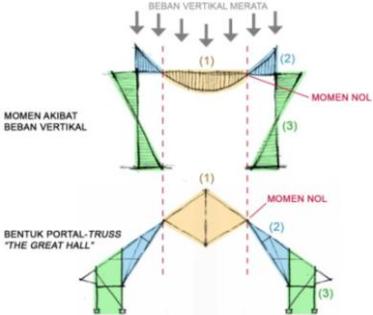
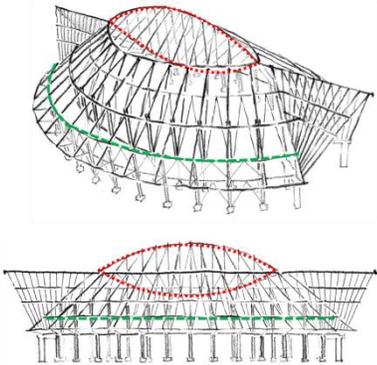
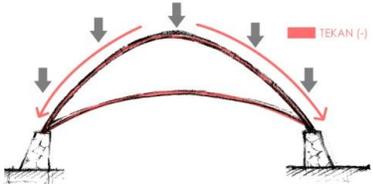
- Bangunan lengkung linear :
 - “The Great Hall”, OBI Eco Campus, Jatiluhur, Jawa Barat
 - “Mepantigan”, Green School, Bali
- Bangunan lengkung terpusat :
 - “The Heart of Green School”, Bali
 - “Mandala Utama”, Puri Ahimsa, Bali

5.1. BENTUK STRUKTURAL BANGUNAN LINGKUNG LINEAR

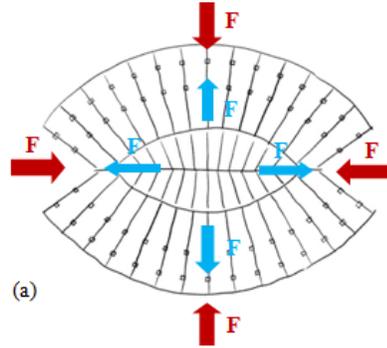
5.1.1. GLOBAL STRUCTURAL FORM

	"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
A. SISTEM STRUKTUR		
TIBE STRUKTUR	 <p>BEBAN SEARAH SUMBU ELEMEN STRUKTUR → AKSIAL BEBAN TEGAK LURUS SUMBU ELEMEN STRUKTUR → TRANSVERSAL</p> <p>Gambar 5.1 Struktur "SEMI-FORM-ACTIVE" pada "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Ditinjau dari keefisienan bentuk elemen struktural, maka diklasifikasikan dalam struktur "SEMI-FORM-ACTIVE" Dengan bentuk yang ditingkatkan (<i>improvement element</i>)</p>	 <p>Gambar 5.2 Struktur "FORM-ACTIVE" pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Ditinjau dari keefisienan bentuk elemen struktural, maka diklasifikasikan dalam struktur "FORM-ACTIVE"</p>
JENIS STRUKTUR	 <p>Gambar 5.3 TRUSSED PORTAL FRAME pada "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Sistem strukturnya adalah TRUSSED PORTAL FRAME (PORTAL RANGKA BATANG) Jumlah : 15 buah portal</p>	 <p>Gambar 5.4 Struktur BUSUR pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Sistem strukturnya adalah BUSUR BALOK TUNGGAL Jumlah : 2 pasang, masing-masing 2 buah busur</p>

		"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
B. GEOMETRI STRUKTUR			
GEOMETRI ELEMEN STRUKTUR	STRUKTUR UTAMA	 <p>Gambar 5.5 Bentuk Elemen Struktur utama: GARIS LURUS pada "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Sistem strukturnya <i>TRUSSED PORTAL FRAME</i> berdasarkan geometri dasarnya, diklasifikasikan kedalam bentuk elemen GARIS LURUS.</p>	 <p>Gambar 5.6 Bentuk Elemen Struktur utama: GARIS LENGKUNG pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Sistem strukturnya BUSUR, berdasarkan geometri dasarnya, diklasifikasikan sebagai bentuk elemen GARIS LENGKUNG.</p>
	STRUK. PENAHAN LATERAL	 <p>Gambar 5.7 Bentuk Elemen Struktur Penahan Lateral: BIDANG LENGKUNG pada "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Elemen struktural penahan lateral adalah <i>BRACED FRAME</i> yang didefinisikan sebagai elemen BIDANG LENGKUNG</p>	 <p>Gambar 5.8 Bentuk Elemen Struktur Penahan Lateral: GARIS LENGKUNG pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Elemen struktural penahan lateral adalah <i>BRACING</i> berupa 2 batang yang menyilang, didefinisikan sebagai elemen GARIS LENGKUNG</p>
KONFIGURASI ELEMEN STRUKTURAL		 <p>Gambar 5.9 Konfigurasi elemen struktural : RADIAL-LINEAR pada "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Konfigurasi penyusunan elemen struktur utama berupa grid RADIAL yang memiliki sumbu LINEAR</p>	 <p>Gambar 5.10 Konfigurasi elemen struktural : LINEAR pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Konfigurasi penyusunan elemen struktur utama berupa grid PERSEGI PANJANG sehingga terbentuk sumbu LINEAR</p>

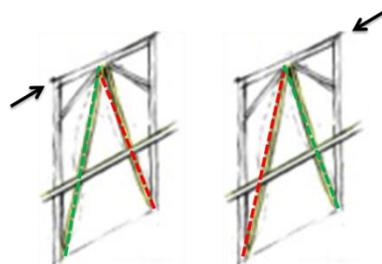
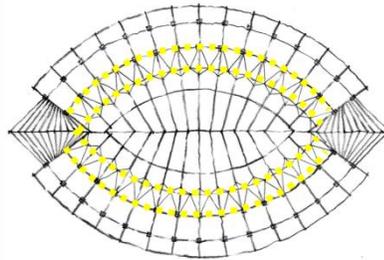
	"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
C. KONFIGURASI PENYALURAN BEBAN		
BEBAN GRAVITASIONAL	<p>Pada sistem struktur <i>TRUSSED PORTAL FRAME</i>, yang sambungan batang vertikal-horisontalnya adalah sambungan jepit, penyaluran bebannya adalah aksial-tranversal, sehingga baik batang horizontal maupun batang vertikal terdapat momen.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.11 Momen pada Portal Utama "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Akibat konfigurasi yang radial-linear, maka pada bagian tengah antar portal diperlukan balok lengkung tekan dan pada bagian luar diperlukan balok lengkung tarik (gording) agar stabil.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.12 Balok lengkung tekan dan balok lengkung tarik pada "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Pada sistem struktur <i>BUSUR</i>, penyaluran bebannya adalah aksial-tekan.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.13 Penyaluran beban aksial tekan pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Karena busur disusun tidak tegak lurus arah gravitasional maka perlu batang-batang tarik diantara kedua busur agar menjadi stabil terhadap beban gravitasional</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.14 Batang tarik pada "Mepantigan" Green School</p>

Dengan konfigurasi radial-linear, ini menguntungkan untuk mengatasi beban lateral. Beban lateral ditahan oleh portal utama.



Gambar 5.15 Konfigurasi radial-linear terhadap penyaluran beban lateral pada "The Great Hall" OBI Campus

Selain itu, beban lateral juga ditahan oleh **bracing V terbalik**. Batang diagonal ini mengalami tekan dan tarik dalam mengatasi gaya lateral.



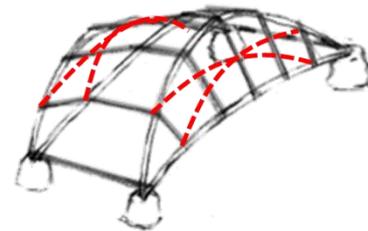
Gambar 5.16 Bracing V terbalik dan konfigurasi pada "The Great Hall" OBI Campus

Dengan konfigurasi linear, maka batang tarik yang menghubungkan antar busur berfungsi sebagai batang tekan agar struktur stabil secara horisontal.



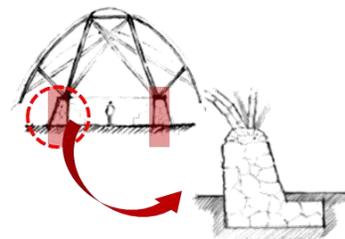
Gambar 5.17 Batang tarik yang juga akan mengalami tekan pada penyaluran beban lateral pada "Mepantigan" Green School

Selain itu, beban lateral juga ditahan oleh **bracing X** arah horisontal. Batang diagonal ini mengalami tekan dan tarik dalam mengatasi gaya lateral



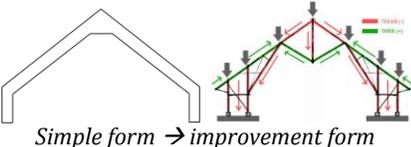
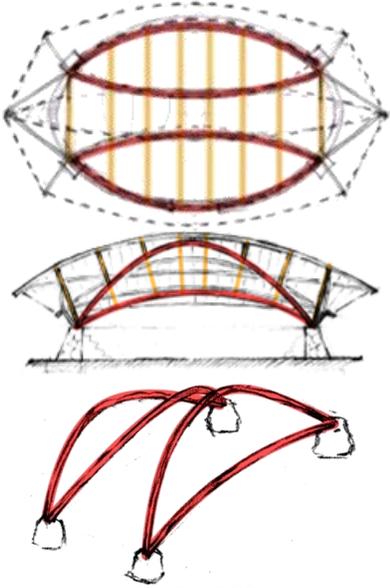
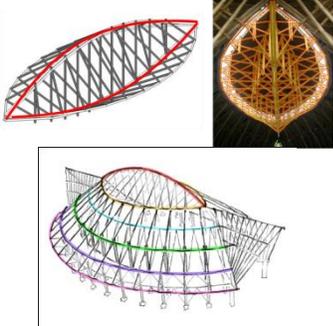
Gambar 5.18 Bracing X arah horisontal pada "Mepantigan" Green School

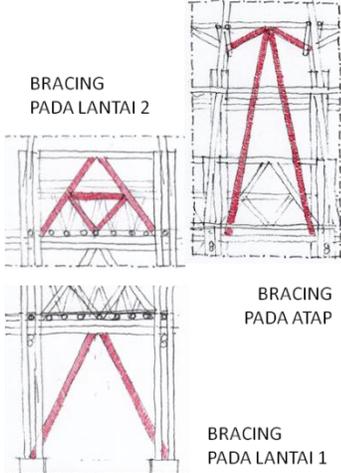
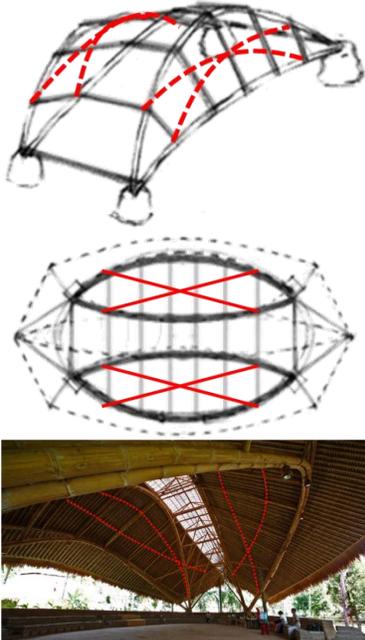
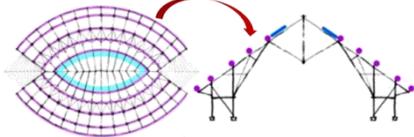
Sambungan busur-pondasi dan pondasi pada bangunan ini sangat berperan untuk mengatasi gaya lateral



Gambar 5.19 Pondasi pada "Mepantigan" Green School

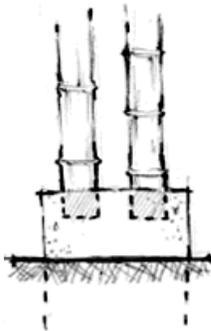
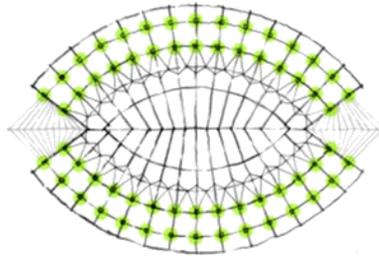
5.1.2. LOCAL STRUCTURAL FORM

		"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
A. ARTIKULASI ELEMEN-ELEMEN STRUKTUR			
STRUKTUR UTAMA	ELEMEN STRUKTUR UTAMA	<p>Bentuk struktur utama yang berupa TRUSSED PORTAL FRAME ini merupakan bentuk elemen yang ditingkatkan (<i>improvement element</i>) untuk meningkatkan efisiennya, namun secara geometri menjadi lebih sulit.</p>  <p style="text-align: center;"><i>Simple form</i> → <i>improvement form</i></p> <p style="text-align: center;">Gambar 5.20 <i>Improvement form</i> struktur portal pada "The Great Hall" OBI Campus</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.21 Isometri portal pada "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Bentuk struktur utama yang berupa busur ini merupakan bentuk elemen yang sederhana (<i>simple element</i>).</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.22 Denah, tampak, dan isometri busur pada "Mepantigan" Green School</p>
	ELEMEN PENGAKU	<p>Batang lengkung tengah dan samping (<i>gording</i>) berfungsi untuk menjaga kestabilan portal utama akibat konfigurasi radialnya. Batang ini merupakan batang tunggal (<i>simple element</i>)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.23 Batang lengkung tengah & samping (<i>gording</i>) "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Elemen pengaku merupakan elemen garis lurus dengan batang tunggal (<i>simple element</i>) yang berfungsi menjaga kestabilan busur akibat perletakan busur yang tidak tegak lurus arah gravitasi</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.24 Elemen pengaku pada "Mepantigan" Green School</p>

STRUKTUR UTAMA (lanjutan)	BRACING	<p>Bracing V digunakan untuk menahan gaya lateral. Diletakan diantara portal pada lantai 1, lantai 2 dan pada atap.</p>  <p>BRACING PADA LANTAI 2</p> <p>BRACING PADA ATAP</p> <p>BRACING PADA LANTAI 1</p> <p>Gambar 5.25 Bentuk bracing pada "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Bracing X digunakan untuk menahan gaya lateral. Diletakan diantara busur pada atap.</p>  <p>Gambar 5.26 Bracing X pada "Mepantigan" Green School</p>
	KONSTRUKSI ATAP	GORDING	<p>Gording berfungsi sebagai elemen pengaku utama. Gording merupakan elemen garis lengkung</p>  <p>Gambar 5.27 Gording pada "The Great Hall" OBI Campus</p>
	KASO	<p>Kaso merupakan elemen garis lurus yang disusun secara radial.</p>	<p>Kaso merupakan elemen garis lengkung yang disusun secara linear.</p>
	RENG	<p>Reng merupakan elemen garis lengkung yang disusun melingkar.</p>	<p>Reng merupakan elemen garis lengkung yang disusun secara melingkar</p>

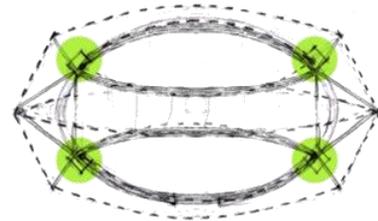
SUB-STRUCTURE

Pondasi yang digunakan adalah pondasi beton (sumuran) yang dilanjutkan menjadi pedestal bagi portal utama.

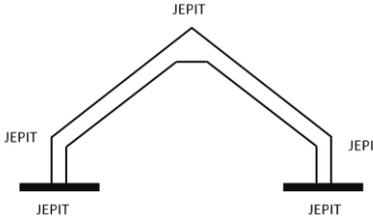
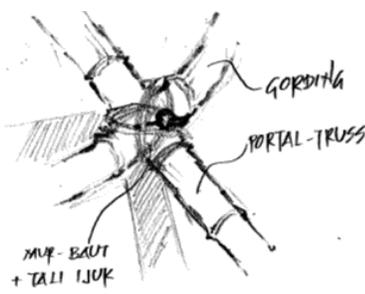


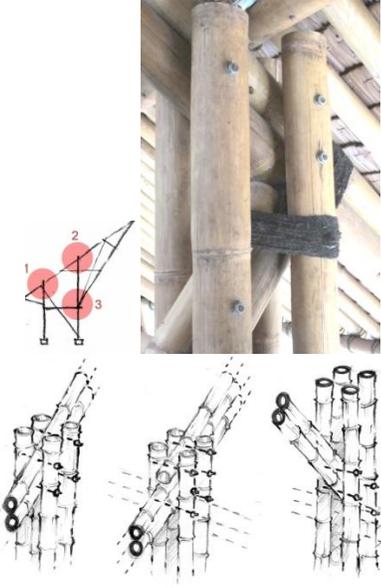
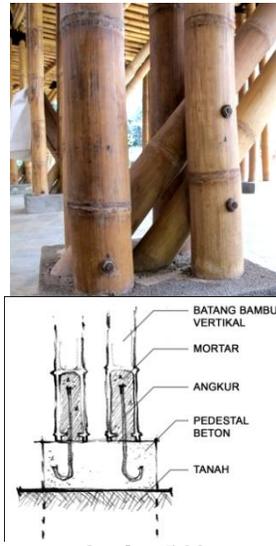
Gambar 5.29
Pedestal dan pondasi pada
"The Great Hall" OBI Campus

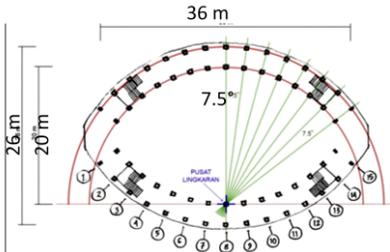
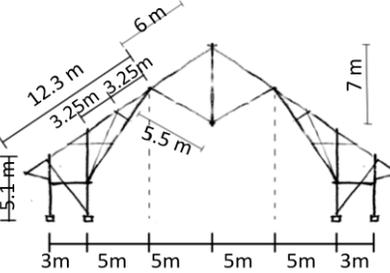
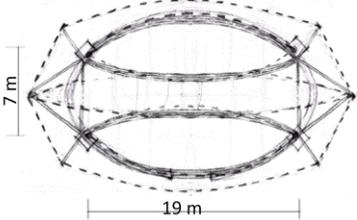
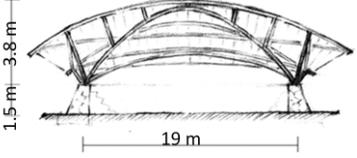
Pondasi yang digunakan adalah pondasi batu kali yang dilanjutkan menjadi pedestal bagi busur. Bentuk pondasi merupakan bentuk yang ditingkatkan (*improve element*) yang disesuaikan dengan beban yang diterima (beban horizontal yang mendorong keluar).



Gambar 5.30
Pedestal dan pondasi pada
"Mepantigan" Green School

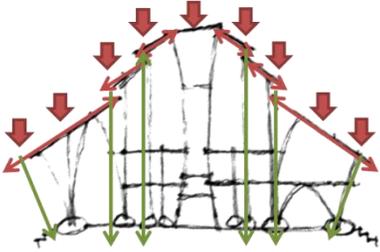
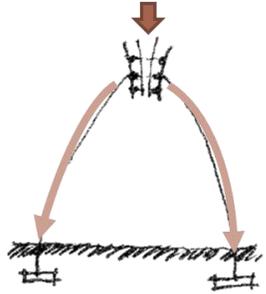
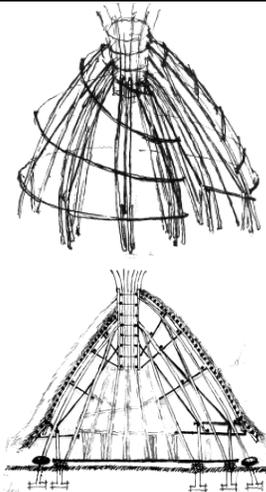
		"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
B. DETAIL STRUKTURAL			
PRINSIP HUBUNGAN	<p>Prinsip hubungan pada portal ini adalah jepit. Namun karena portal ini terbuat dari rangka batang, yang memungkinkan untuk membuat sambungan sendi tanpa mempengaruhi kestabilannya.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.31 Prinsip hubungan pada portal "The Great Hall" OBI Campus</p>		<p>Prinsip hubungan pada busur ini adalah sendi, agar tidak terjadi momen pada busur.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.32 Prinsip hubungan pada busur "Mepantigan" Green School</p>
	DETAIL SAMBUNGAN	GORDING-PORTAL	<p>Gaya yang bekerja pada sambungan ini adalah gaya tekan vertikal dan gaya tarik arah horizontal. Jenis hubungan yang digunakan adalah mur-baut yang diperkuat dengan tali ijuk</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.33 Hubungan gording-portal "The Great Hall" OBI Campus</p>

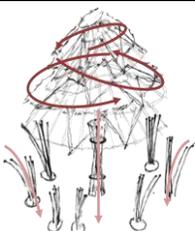
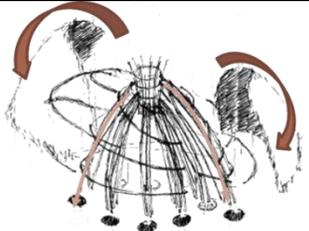
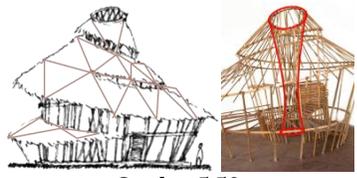
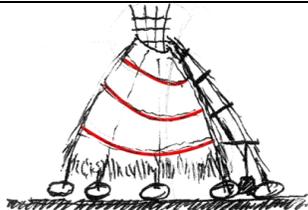
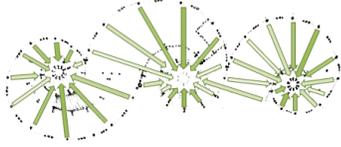
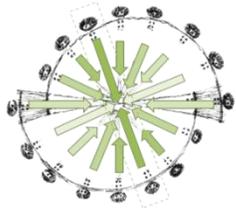
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">DETAIL SAMBUNGAN (lanjutan)</p>	<p>SAMBUNGAN ANTAR BATANG PADA STRUKTUR UTAMA</p>	<p>Jenis sambungan yang digunakan adalah mur-baut dan tali ijuk (untuk area tarik)</p>  <p>Gambar 5.35 Hubungan antar batang pada portal "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Jenis sambungan yang digunakan untuk sambungan memanjang adalah sambungan dengan bambu didalam kemudian di ikat, yang juga menggabungkan 3 batang bambu untuk busur.</p>  <p>Gambar 5.36 Sambungan memanjang pada "Mepantigan" Green School</p>  <p>Gambar 5.37 Hubungan antar batang pada busur "Mepantigan" Green School</p>
	<p>STRUKTUR UTAMA - PONDASI</p>	<p>Sambungan bambu dengan pondasi adalah dengan cara melubangi bagian bawah bambu dan dimasukkan beton cair lalu dicor bersama dengan pedestal beton.</p>  <p>Gambar 5.38 Hubungan portal dengan pondasi "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Sambungan bambu dengan pondasi adalah dengan cara melubangi bagian bawah bambu dan dimasukkan beton cair lalu dicor bersama dengan pedestal beton dan batu kali.</p>  <p>Gambar 5.39 Hubungan busur dengan pondasi "Mepantigan" Green School</p>

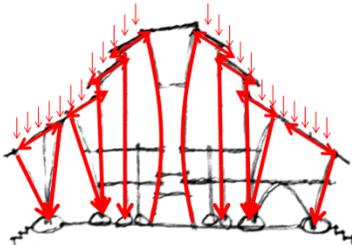
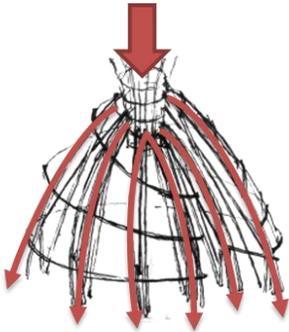
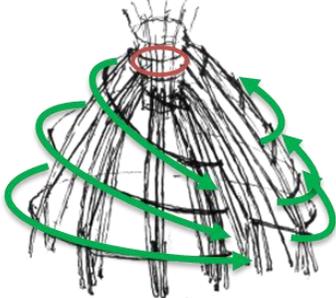
	"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
C. PROPORSI		
DIMENSI ELEMEN STRUKTURAL	<p>Bentang : 20 m Jarak antar tumpuan portal : 3m</p>  <p>Gambar 5.40 Denah "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Tinggi portal (tengah) : 7m Lebar antar batang vertikal : 3m</p>  <p>Gambar 5.41 Tampak Struktur "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Bentang : 19m Jarak antar tumpuan busur : 7m</p>  <p>Gambar 5.42 Denah "Mepantigan" Green School</p> <p>Tinggi busur : 3.8m Tinggi batang busur : 40cm</p>  <p>Gambar 5.43 Tampak Struktur "Mepantigan" Green School</p>
	RASIO ELEMEN STRUKTURAL	<p>Rasio tinggi portal berbanding bentang adalah $1/2 - 1/3$</p>

5.2. BENTUK STRUKTURAL BANGUNAN LINGKUNG TERPUSAT

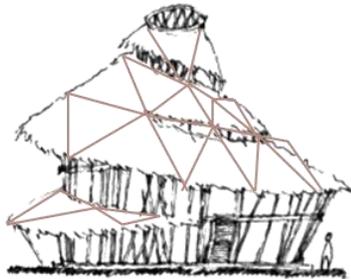
5.2.1. GLOBAL STRUCTURAL FORM

	"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
A. SISTEM STRUKTUR		
TIPE STRUKTUR	 <p>Gambar 5.44 Struktur "SEMI-FORM-ACTIVE" pada "The Heart of Green School"</p> <p>Ditinjau dari keefisienan bentuk elemen struktural, maka diklasifikasikan dalam struktur "SEMI-FORM-ACTIVE" Dengan bentuk yang sederhana (<i>simple element</i>)</p>	 <p>Gambar 5.45 Struktur "FORM-ACTIVE" pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Ditinjau dari keefisienan bentuk elemen struktural, maka diklasifikasikan dalam struktur "FORM-ACTIVE"</p>
JENIS STRUKTUR	 <p>Gambar 5.46 SLOPPING-FLAT SLAB pada "The Heart of Green School"</p> <p>Sistem strukturnya adalah SLOPPING FLAT SLAB (Pelat Miring & Kolom) Jumlah : 40 kolom (untuk 1 bagian)</p>	 <p>Gambar 5.47 Struktur ARCH- RIBED SHELL pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Sistem strukturnya adalah RIBBED SHELL dengan rusuk berbentuk TRUSSED ARCH Jumlah : 7 buah busur</p>

		"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
B. GEOMETRI STRUKTUR			
GEOMETRI ELEMEN STRUKTUR	STRUKTUR UTAMA	 <p>Gambar 5.48 Bentuk Elemen Struktur utama: BIDANG & GARIS LURUS pada "The Heart of Green School"</p> <p>Sistem struktur <i>SLOPPING FLAT SLAB</i> berdasarkan geometri dasarnya, diklasifikasikan kedalam bentuk elemen BIDANG & GARIS LURUS.</p>	 <p>Gambar 5.49 Bentuk Elemen Struktur utama: BIDANG & GARIS LENGKUNG pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Sistem struktur <i>ARCH-RIBBED SHELL</i>, berdasarkan geometri dasarnya, diklasifikasikan sebagai bentuk elemen BIDANG & GARIS LENGKUNG.</p>
	STRUK. PENAHAN LATERAL	 <p>Gambar 5.50 Bentuk Elemen Struktural Penahan Lateral: BIDANG LENGKUNG pada "The Heart of Green School"</p> <p>Elemen struktural penahan lateral adalah slab atap dan lantai yang berfungsi sebagai <i>DIAFRAGM</i> dan CORE (kolom di pusat bangunan) yang didefinisikan sebagai elemen BIDANG LENGKUNG</p>	 <p>Gambar 5.51 Bentuk Elemen Struktur Penahan Lateral: GARIS LENGKUNG pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Elemen struktural penahan lateral adalah GORDING. didefinisikan sebagai elemen GARIS LENGKUNG dan perkuatan pada busur di area <i>re-entrance corner</i>.</p>
KONFIGURASI ELEMEN STRUKTURAL	 <p>Gambar 5.52 Konfigurasi elemen struktural : TERPUSAT pada "The Heart of Green School"</p> <p>Konfigurasi penyusunan elemen struktur utama berupa grid RADIAL-TERPUSAT</p>	 <p>Gambar 5.53 Konfigurasi elemen struktural : TERPUSAT pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Konfigurasi penyusunan elemen struktur utama berupa RADIAL</p>	

	"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
<p>BEBAN GRAVITASIONAL</p>	<p data-bbox="402 296 938 327">C. KONFIGURASI PENYALURAN BEBAN</p> <p data-bbox="537 411 959 642">Pada sistem struktur <i>FLAT SLAB</i>, penyaluran bebannya adalah aksial-tranversal, sehingga pada pelat akan terjadi momen. Beban kemudian disalurkan melalui kolom-kolom vertikal lalu ke pondasi.</p>   <p data-bbox="613 1209 883 1276">Gambar 5.54 Penyaluran beban pada "The Heart of Green School"</p> <p data-bbox="537 1314 959 1444">Akibat konfigurasi yang radial, maka pada bagian pelat ditambah balok-balok diagonal agar struktur stabil.</p>  <p data-bbox="613 1717 883 1785">Gambar 5.55 Batang diagonal pada pelat "The Heart of Green School"</p>	<p data-bbox="1008 411 1382 611">Pada struktur <i>ARCH-RIBBED SHELL</i> ini beban diterima secara merata, lalu disalurkan melalui gaya meridional yang bekerja aksial-tekan melalui busurnya.</p>  <p data-bbox="1045 1010 1341 1077">Gambar 5.56 Gaya meridional : aksial tekan "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p data-bbox="992 1115 1393 1314">Akibat konfigurasi beban yang radial, maka terjadi gaya hoop (gaya yang melingkar). Pada bagian puncak terjadi gaya hoop tekan pada bagian bawah terjadi gaya hoop tarik.</p>  <p data-bbox="1045 1671 1341 1738">Gambar 5.57 Gaya hoop tekan dan tarik "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>

Dengan konfigurasi terpusat dan bentuk yang melingkar, ini menguntungkan untuk mengatasi beban lateral. Namun pada bangunan ini, bangunan terpusat ini terdiri dari 3 massa yang dikomposisikan linear, maka harus ada elemen yang menahan gaya lateral, yaitu : bidang atap berfungsi sebagai DIAFRAGM dan juga CORE yang terdiri dari garis-garis lurus yang disusun miring (*ruled surface*).

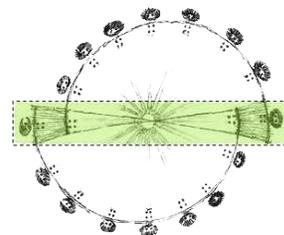


Gambar 5.58
Plat atap yang menjadi DIAFRAGM pada "The Heart of Green School"



Gambar 5.59
Ruled Surface pada CORE "The Heart of Green School"

Dengan konfigurasi terpusat dan bentuk yang melingkar, ini menguntungkan untuk mengatasi beban lateral. Namun adanya pergeseran segmen menyebabkan adanya *re-entrant corner* yang berbahaya untuk beban lateral. Pada area tersebut struktur busur yang ada diperkuat.

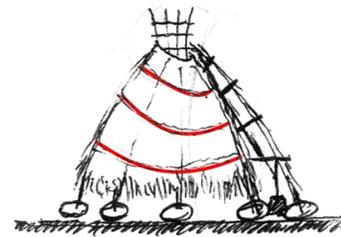


Gambar 5.60
Area re-entrant corner pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa



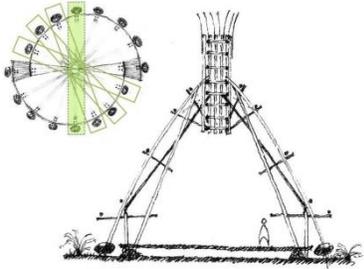
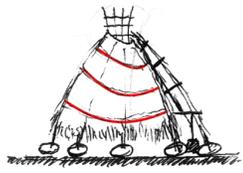
Gambar 5.61
Busur pada area re-entrant corner "Mandala Agung" Puri Ahimsa

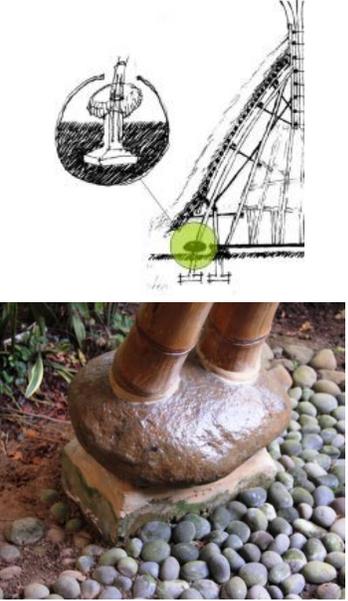
Selain itu, gording berfungsi dalam menjaga kestabilan akibat beban gravitasional, juga berfungsi sebagai bracing.

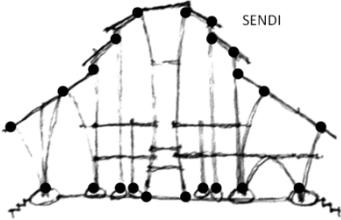
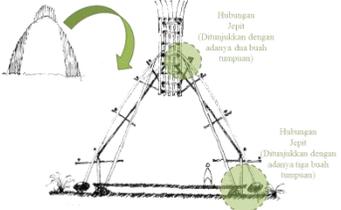


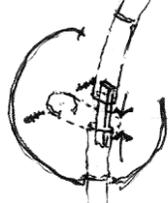
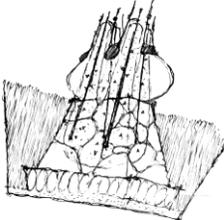
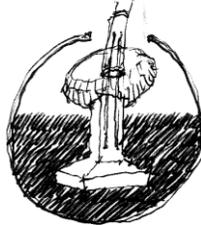
Gambar 5.62
Gording yang menahan beban lateral pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa

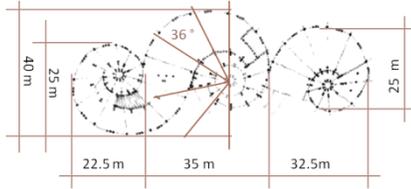
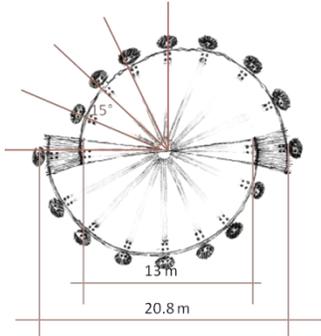
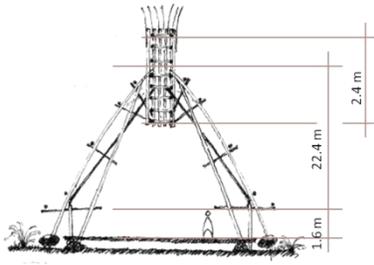
5.2.2. LOCAL STRUCTURAL FORM

		"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
A. ARTIKULASI ELEMEN-ELEMEN STRUKTUR			
STRUKTUR UTAMA	ELEMEN STRUKTUR UTAMA	<p>Bentuk elemen struktur utama yang berupa SLOPPING FLAT SLAB ini adalah kolom dan plat merupakan bentuk elemen yang sederhana (<i>simple element</i>). Tidak ada modifikasi apapun untuk meningkatkan efisiensinya. Selain itu terdapat juga CORE (kolom inti ditengah) yang merupakan bidang lengkung namun terdiri dari garis-garis lurus (<i>ruled surface</i>)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.63 Struktur flat slab dan core "The Heart of Green School"</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.64 Metamorfosis dari kolom tunggal menjadi bidang lengkung (<i>ruled surface</i>) pada CORE "The Heart of Green School"</p>	<p>Bentuk struktur utama berupa busur yang merupakan rangka batang yang kemudian disusun radial. Pada pertemuan busur tersebut ditengah dibuatkan mahkota.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.65 Struktur busur utama pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.66 Mahkota untuk menyatukan semua busur pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>
	ELEMEN PENGAKU	<p>Elemen pengaku pada struktur utama untuk menjaga kestabilan vertikal adalah balok-balok diagonal yang menjadi satu-kesatuan dengan rangka pelat atap.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.67 Batang diagonal pada pelat atap "The Heart of Green School"</p>	<p>Elemen pengaku merupakan elemen garis lengkung dengan batang tunggal (<i>simple element</i>) yang berfungsi menjaga kestabilan busur</p>   <p style="text-align: center;">Gambar 5.68 Gording (batang melingkar) pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>

KONSTRUKSI ATAP	GORDING	Gording masuk kedalam struktur utama yang berfungsi sebagai elemen pengaku untuk kestabilan vertikal dan horizontal Gording berupa elemen garis lengkung.	Gording masuk kedalam struktur utama yang berfungsi sebagai elemen pengaku untuk kestabilan vertikal dan horizontal Gording berupa elemen garis lengkung.	
	KASO	Kaso merupakan elemen garis lurus yang disusun secara radial.	Kaso merupakan elemen garis lengkung yang disusun secara linear.	
	RENG	Reng merupakan elemen garis lengkung yang disusun melingkar.	Reng merupakan elemen garis lengkung yang disusun secara melingkar	
SUB-STRUCTURE	<p>Pondasi yang digunakan adalah pondasi telapak. Sedangkan untuk pedestalnya digunakan batu utuh.</p>  <p>Gambar 5.69 Pedestal pada "The Heart of Green School"</p>		<p>Pondasi yang digunakan adalah pondasi telapak. Sedangkan untuk pedestalnya digunakan batu kali utuh.</p>  <p>Gambar 5.70 Pedestal pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>	

		"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
B. DETAIL STRUKTURAL			
PRINSIP HUBUNGAN		<p>Prinsip hubungan yang biasa digunakan pada <i>flat slab</i> adalah jepit, karena hanya jepit yang mampu menahan momen. Namun pada bangunan ini, hubungan yang digunakan adalah hubungan sendi, dan untuk memperoleh kekakuannya dengan mengandalkan rangkaian keseluruhannya.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.71 Prinsip hubungan pada "The Heart of Green School"</p>	<p>Prinsip hubungan pada busur agar menghindarkan momen adalah prinsip sendi. Namun pada bangunan ini, digunakan hubungan jepit (dua atau lebih hubungan sendi pada satu tumpuan). Hal ini menyebabkan busur berubah menjadi busur jepit dan terdapat momen pada batang busurnya.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.72 Prinsip hubungan pada busur "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>
	DETAIL SAMBUNGAN	GORDING-STRUKTUR UTAMA	<p>Gaya yang bekerja pada sambungan ini adalah gaya tekan vertikal dan gaya tarik/tekan arah horizontal (menahan gaya horizontal, akibat konfigurasi). Jesis hubungan yang digunakan adalah mur-baut.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 5.73 Hubungan gording-portal "The Heart of Green School"</p>

DETAIL SAMBUNGAN (lanjutan)	SAMBUNGAN ANTAR BATANG PADA STRUKTUR UTAMA	<p>Jenis sambungan yang digunakan adalah mur-baut dan untuk daerah <i>core</i>, menggunakan bambu laminasi dan mur baut.</p>  <p>Gambar 5.75 Hubungan antar kolom dan batang horisontal "The Heart of Green School"</p>  <p>Gambar 5.76 Hubungan pada <i>core</i> "The Heart of Green School"</p>	<p>Jenis sambungan yang digunakan untuk sambungan memanjang adalah sambungan dengan bambu didalam kemudian diklem.</p>  <p>Gambar 5.77 Sambungan memanjang pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Sambungan antar batang lainnya menggunakan mur-baut</p>  <p>Gambar 5.78 Hubungan antar batang pada busur "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>
	STRUKTUR UTAMA - PONDASI	<p>Sambungan bambu dengan pondasi adalah dengan cara melubangi bagian bawah bambu, melubangi batu dan dimasukkan tulangan ulir dan beton cair lalu dicor bersama dengan pondasi batu kali.</p>   <p>Gambar 5.38 Hubungan kolom dengan pondasi "The Heart of Green School"</p>	<p>Sambungan bambu dengan pondasi adalah dengan cara melubangi bagian bawah bambu, melubangi batu dan dimasukkan tulangan ulir dan beton cair lalu dicor bersama dengan pondasi setempat.</p>   <p>Gambar 5.39 Hubungan busur dengan pondasi "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>

	"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
C. PROPORSI		
DIMENSI ELEMEN STRUKTURAL	<p>Bentang : 22,5 - 35 m (dengan 5-6 tumpuan kolom diantaranya) Jarak antar tumpuan kolom : 3m</p>  <p>Gambar 5.40 Denah "The Heart of Green School"</p> <p>Tinggi batang pelat : 15 cm</p>  <p>Gambar 5.41 Tampak Struktur "The Great Hall" OBI Campus</p>	<p>Bentang : 13-20.8 m Jarak antar tumpuan busur : 3m</p>  <p>Gambar 5.42 Denah "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Tinggi busur : 20 m Tinggi batang busur : 1,5 m</p>  <p>Gambar 5.43 Tampak Struktur "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>
	RASIO ELEMEN STRUKTURAL	<p>Rasio tinggi balok berbanding bentang adalah $1/30$</p>

5.3. KOMPARASI BENTUK STRUKTURAL

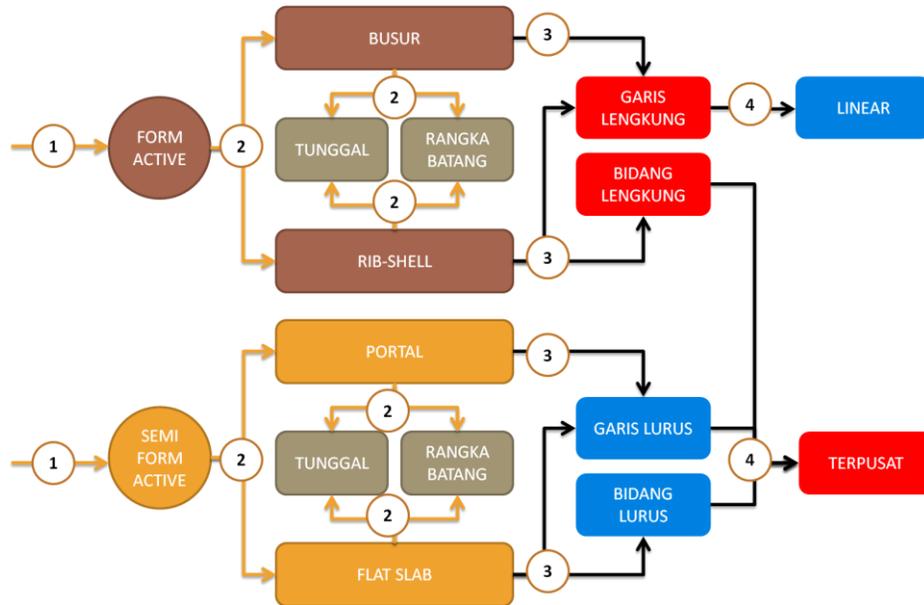
5.3.1. GLOBAL STRUCTURAL FORM

Setelah melakukan analisis deskriptif dari masing-masing sub variabel mengenai *global structural form* dari variabel bentuk struktural terhadap objek penelitian, maka dilakukan analisis komparatif sebagai berikut :

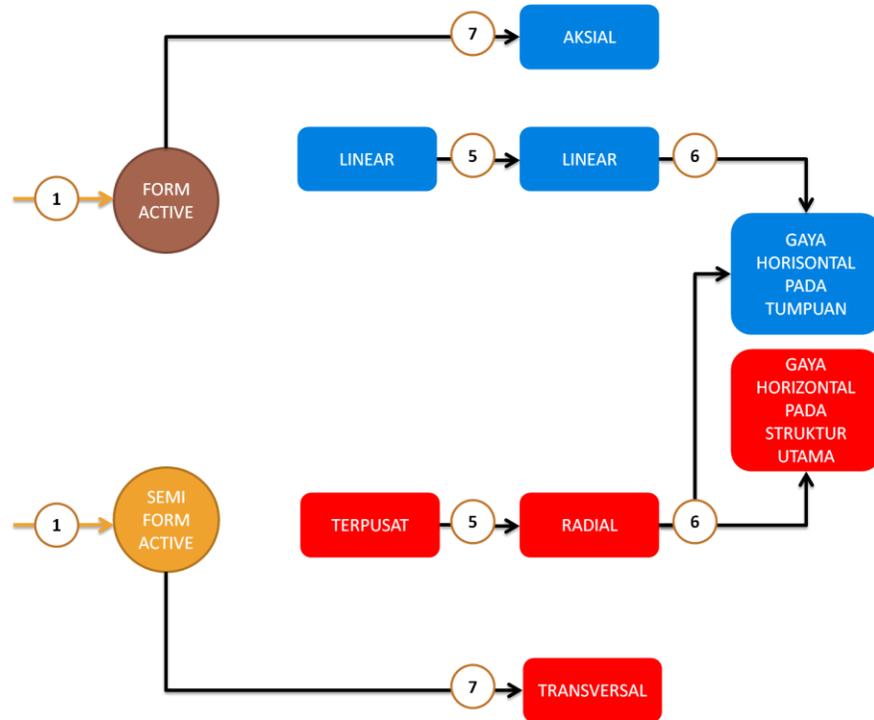
		“The Great Hall” OBI Campus	“Heart of Green School”	“Mepantigan” Green School	“Mandala Agung”, Puri Ahimsa
A. BENTUK ARSITEKTURAL					
Konfigurasi Denah		Lengkung-Linear	Lengkung-Terpusat	Lengkung-Linear	Lengkung-Terpusat
Selubung		Lengkung 1 arah		Lengkung 2 arah (synclastic)	
BENTUK STRUKTURAL - GLOBAL FORM					
B. SISTEM STRUKTUR					
Tipe Struktur berdasarkan keefisienannya	Tipe	Semi Form Active		Form Active	
	Elemen	Improvement element	Simple Element	Simple Element	Improvement Element
Jenis Struktur	Jenis	<i>Portal Frame</i>	Sloping Flat Slab	Busur	Arch-Ribbed Shell
	Elemen	Rangka Batang	Balok Tunggal	Balok Tunggal	Rangka Batang
C. GEOMETRI ELEMEN STRUKTUR					
Geometri Struktur Utama	El. Struktur Utama	Garis	Bidang & Garis	Garis	Bidang & Garis
		Lurus		Lengkung	
	El. Struktur Lateral.	Bidang Lengkung		Garis Lengkung	
Konfigurasi El. Struktural	Grid	Grid Radial (Irregular)		Grid persegi panjang	Grid Radial (Irregular)
	Penyusunan	Linear	Terpusat	Linear	Terpusat
D. KONFIGURASI PENYALURAN BEBAN					
Beban Granvitasional	Penyaluran Beban	Aksial - transversal		Aksial tekan	
	Konfigurasi	Radial		Linear	Radial
Beban Lateral	Elemen	Bracing	Diafragma	Bracing	
	Konfigurasi	Radial		Linear	Radial

Tabel 5.1 Komparasi *Global Structural Form* pada Bangunan Lengkung

Berikut ini adalah pola penyelusuran hubungan antar variabel ditinjau dari hasil analisis komparasi yang telah dilakukan, yaitu sebagai berikut :



Bagan 5.1 Pola penyelusuran hubungan antar sub variable *global structural form* dari variabel bentuk struktural (bagian 1)



Bagan 5.2 Pola penyelusuran hubungan antar sub variable *global structural form* dari variabel bentuk struktural (bagian 2)

Dari pola penyusunan hubungan antar sub variabel diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem struktur pada bangunan lengkung (baik dengan konfigurasi linear ataupun terpusat) dapat menerapkan tipe struktur:
 - ***form active***
 - ***semi-non active.***Perancang memiliki peranan dalam menentukan tipe struktur yang akan digunakan.
2. Arsitek berperan besar dalam menentukan jenis **sistem struktur** yang digunakan, karena akan berpengaruh pada kualitas bentuk dan ruangnya. Pemilihan sistem struktur bergantung pada bentuk dan ruang arsitekturalnya, yaitu terkait dengan:
 - **tatanan bentuk bangunan** (linear atau terpusat)
 - kebutuhan **lebar dan panjang ruang** yang diperlukan (bentang).
3. Selain pertimbangan bentuk arsitekturalnya, pemilihan tipe struktur juga dipengaruhi oleh bentuk elemen strukturalnya. Karena artikulasi elemen struktur ini dapat mempengaruhi artikulasi arsitekturalnya. Untuk bangunan lengkung ini, elemen strukturalnya dapat berupa garis dan/atau bidang lengkung dan juga dapat berupa garis/bidang lurus.
 - Tipe struktur ***form-active***, akan terbentuk dari elemen struktural **garis/bidang lengkung,**
 - Tipe struktur ***semi form-active***, akan terbentuk dari elemen struktural **garis/bidang lurus.**
4. Korelasi dari pemilihan geometri elemen struktural terhadap konfigurasi elemen strukturalnya adalah :
 - Jika geometri elemen struktur adalah **garis lengkung** maka **elemen struktur dapat disusun secara linear**
 - Jika geometri elemen struktur adalah **bidang lengkung, garis lurus atau bidang lurus,** maka elemen struktur **hanya dapat disusun secara radial/terpusat.**
5. Korelasi dari konfigurasi elemen struktur akan berpengaruh pada konfigurasi penyaluran bebannya :
 - Konfigurasi elemen struktur **linear,** maka konfigurasi penyaluran bebannya **linear**
 - Konfigurasi elemen strukturnya **terpusat,** maka konfigurasi penyaluran bebannya **radial**

6. Konfigurasi penyaluran beban **radial** akan menyebabkan munculnya **gaya horisontal pada struktur utama dan tumpuan** → diperlukan **elemen struktur penahan pada struktur utama** (e.g. bracing) dan **pada tumpuan** (e.g. buttress/sloof tarik). Sedangkan pada penyaluran beban **linear**, gaya horisontal hanya terjadi pada **tumpuan** saja.

7. Penyaluran beban yang terjadi pada elemen struktur dipengaruhi oleh tipe struktur :
 - Tipe struktur **form active**, penyaluran bebannya adalah **aksial**.
 - Tipe struktur **semi-form active**, penyaluran bebannya **aksial – transversal**. Hal ini akan memunculkan gaya momen pada elemen struktural yang akan mempengaruhi bentuk dan dimensi elemen strukturalnya.

5.3.2. LOCAL STRUCTURAL FORM

Setelah melakukan analisis deskriptif dari masing-masing sub variabel mengenai *local structural form* dari variabel bentuk struktural terhadap objek penelitian, maka dilakukan analisis komparatif sebagai berikut :

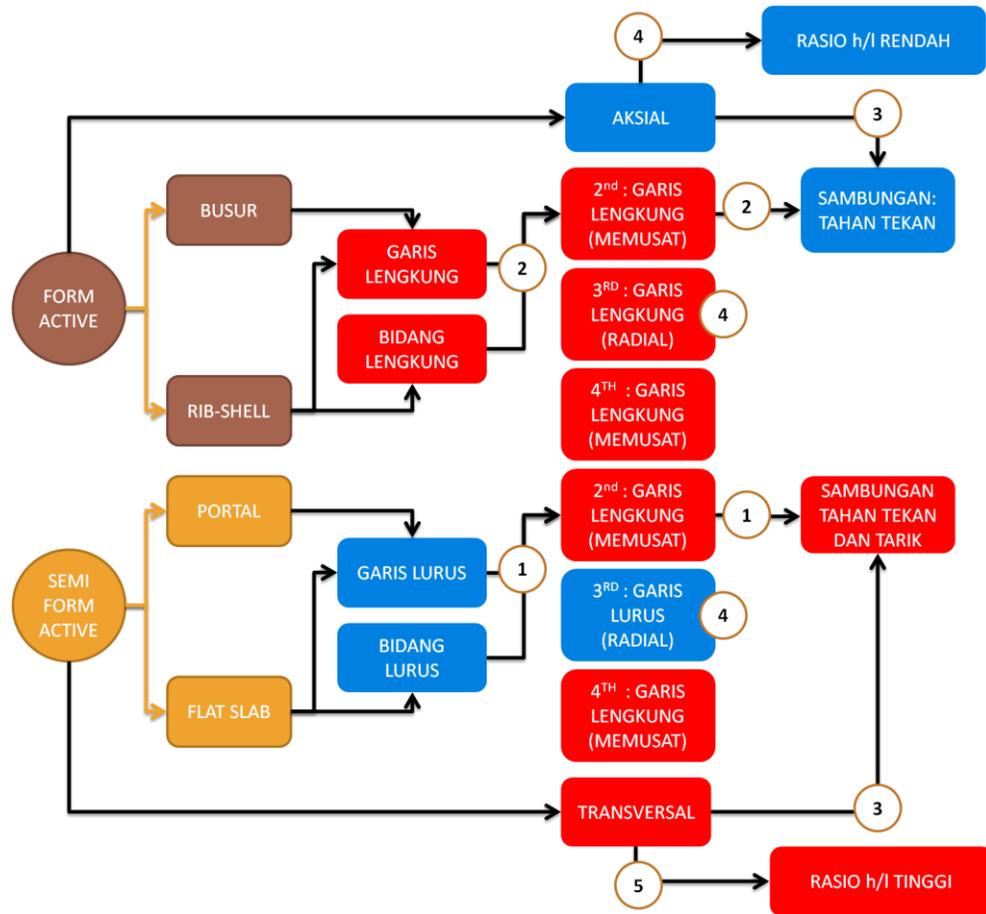
		“The Great Hall” OBI Campus	“Heart of Green School”	“Mepantigan” Green School	“Mandala Agung”, Puri Ahimsa
BENTUK STRUKTURAL – LOCAL FORM					
A. ARTIKULASI ELEMEN-ELEMEN STRUKTUR					
Struktur Utama	Jenis	Trussed Portal Frame	Slopping Flat Slab	Arch	Arch-Ribbed Shell
	Elemen	Garis	Garis & Bidang	Garis	Garis & Bidang
		Lurus		Lengkung	
	Improvement element	Simple Element	Simple Element	Improvement Element	
	Perletakan	Tidak Sejajar Sumbu X	Radial	Sejajar Sumbu X	Radial
Elemen Pengaku Utama	Elemen	Garis	Bidang	Garis	Garis
	Lengkung				
	Perletakan	Sejajar Sumbu X	Melingkar	Sejajar Sumbu X	Melingkar

		"The Great Hall" OBI Campus	"Heart of Green School"	"Mepantigan" Green School	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
A. ARTIKULASI ELEMEN-ELEMEN STRUKTUR (lanjutan)					
Bracing	Jenis	Bracing V Terbalik	-	Bracing X	-
	Elemen	Bidang Lengkung		Garis Lengkung	
	Perletakan	Tegak Lurus Elemen Struktur Utama		Sejajar Elemen Struktur Utama	
Konstruksi Atap	Gording	Berfungsi sebagai elemen pengaku utama	Berfungsi sebagai elemen pengaku utama	Tidak berfungsi sebagai elemen pengaku utama	Berfungsi sebagai elemen pengaku utama
		Garis Lengkung			
		Melingkar			
	Kaso	Garis Lurus		Garis Lengkung	
		Radial		Linear	
	Reng	Garis lengkung			
		Melingkar			
B. DETAIL STRUKTURAL					
Sub-structure	Pondasi	Pondasi setempat		Pondasi Buttress setempat	Pondasi setempat
	Penyusunan	Radial		Linear	Radial
	Pedestal	Beton	Batu utuh	Beton	Batu Utuh
Detail	Prinsip Hubungan	Jepit → sendi		Sendi	
	Sambungan Gording-Struktur Utama	Mur baut + ikat	Mur baut	Mur baut	Mur baut + lem
	Sambungan antar Batang pada Struktur Utama	Mur baut + ikat (pada bagian tarik)	Mur baut	Sambungan memanjang	Mur baut
	Struktur Utama-Pondasi	Tulangan + Cor beton	Tulangan + batu utuh + cor beton		

BAB 5 | KOMPARASI BENTUK STRUKTURAL PADA BANGUNAN LENGKUNG

		"The Great Hall" OBI Campus	"Heart of Green School"	"Mepantigan" Green School	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
C. PROPORSI					
Dimensi	Bentang (l)	20 m	22,5-35 m (dengan 5-6 tumpuan)	19 m	13 - 20,8 m
	Jarak antar tumpuan	3 m	3 m	7 m	3 m
	Ketinggian Struktur (H)	15 m (1 lantai + mezzanine)	15,6 (2 lantai + mezzanine)	3,8 m + 1,5 m (pedestal)	22,4 m (1 lantai)
	tinggi elemen struktural (h)	700 cm	15 cm	40 cm	150 cm
	Lebar elemen vertikal (x)	300 cm	20-22 cm	40 cm	160 cm
Ratio	h/l (proporsi elemen struktur)	1/2 - 1/3	1/30	1/45-1/50	1/8 - 1/13
	H/l (proporsi ruang)	1/1 - 1/2	3 - 4	1/5	1/1 - 1/2
	x/H (kelangsingan element)	1/5	1/75 - 1/80	1/10	1/14

Berikut ini adalah pola penyusunan hubungan antar variabel ditinjau dari hasil analisis komparasi yang telah dilakukan, yaitu sebagai berikut :



Bagan 5.3 Pola penyusunan hubungan antar sub variable *local structural form* dari variabel bentuk struktural

Dari pola penyusunan hubungan antar sub variabel diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada tipe struktur '**semi form active**', elemen struktur **lengkung dimulai pada hirarki gording**. → gording akan berperan dalam **menahan gaya horisontal** yang terjadi pada struktur utama. → **sambungan** gording – struktur utama, harus menahan **tekan vertikal** dan **tarik (arah horisontal)**
2. Pada tipe struktur '**form active**', elemen struktur diatas elemen struktur utama merupakan elemen lengkung dengan konfigurasi memusat/radial. **Tidak adanya gaya horisontal** → **sambungan** gording – main structure, cukup menahan **gaya tekan**

3. Penyaluran beban akan mempengaruhi jenis sambungan :
 - Pada penyaluran beban **aksial**, sambungan menahan gaya **tekan** sehingga jenis sambungan yang memungkinkan adalah **sendi**. Untuk material bambu, sambungan sendi ini lebih **sederhana**.
 - Sedangkan pada penyaluran beban **transversal**, sambungan harus menahan tahanan **tekan, tarik, lentur, geser**, sehingga jenis sambungan yang memungkinkan adalah **jepit**. Untuk material bambu, untuk membuat sambungan jepit itu lebih **kompleks**. Sambungan jepit bisa diperoleh dari rangkaian sambungan sendi (dengan membuatnya menjadi rangka batang, atau sistem balok menerus)
4. Pada tipe struktur **semi form active**, batang **kaso** dapat dibuat dari **elemen lurus**, sehingga akan **mempermudah** ketika konstruksi. Pada tipe struktur **form active**, batang **kaso** merupakan **elemen lengkung**, yang akan **mempersulit** ketika konstruksi dan sambungannya (jumlah batang kaso akan banyak).
5. Penyaluran beban akan mempengaruhi rasio h/l :
 - Aksial → rasio h/l rendah
 - Transversal → rasio h/l besar, kecuali memanfaatkan sistem pelat. Namun sistem pelat datar tidak cocok untuk bentang yang lebar. Bentuk pelat harus ditingkatkan (*improvement element*) untuk melawan momen.

BAB 6 | KOMPARASI PROPERTI MATERIAL BAMBU PADA BANGUNAN LENGKUNG

Kajian property material sebuah bangunan dapat ditinjau melalui tiga sub-variabel utamanya, yaitu : *structural properties*, *technological properties* dan *geometrical properties*.

STRUCTURAL PROPERTIES

merupakan kajian mengenai tipe bambu yang digunakan dan kemampuan struktural material bambu tersebut.

TECHNOLOGICAL PROPERTIES

Merupakan kajian mengenai cara bambu tersebut dibentuk dan disambung,

GEOMETRY PROPERTIES

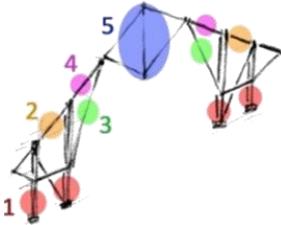
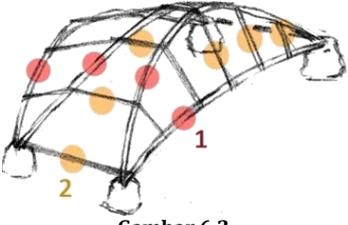
Merupakan kajian mengenai dimensi, bentuk dan jumlah bambu yang digunakan.

Berikut ini adalah analisa deskripsi dan komparasi property material bambu dari objek penelitian yang akan diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama. Pengklasifikasian dilakukan berdasarkan pada konfigurasi bentuk denah objek penelitian tersebut (lihat pada bab 4), yaitu :

- Bangunan lengkung linear :
 - “The Great Hall”, OBI Eco Campus, Jatiluhur, Jawa Barat
 - “Mepantigan”, Green School, Bali
- Bangunan lengkung terpusat :
 - “The Heart of Green School”, Bali
 - “Mandala Utama”, Puri Ahimsa, Bali

6.1. PROPERTI MATERIAL PADA BANGUNAN LENGKUNG LINEAR

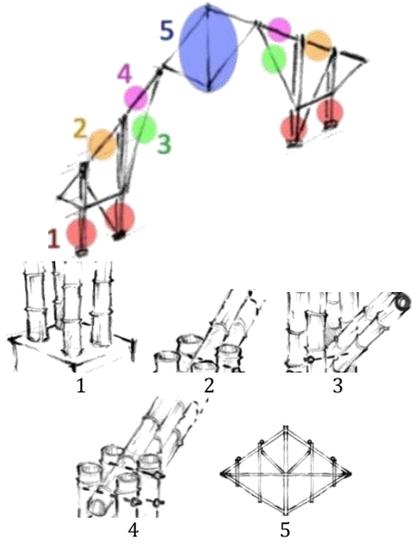
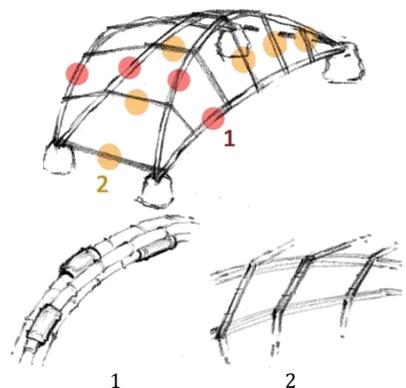
6.1.1. STRUCTURAL PROPERTIES

		"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
PROPERTI	TIPE BAMBU	 <p>Gambar 6.1 Tipe bambu yang digunakan pada "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Untuk batang vertikal pada struktur utama digunakan bambu petung (1). Untuk batang lainnya pada struktur portal ini digunakan bambu tali/apus (2-5). Untuk gording dan kaso digunakan bambu tali. Untuk reng digunakah bilah bambu dari bambu tali</p>	 <p>Gambar 6.2 Tipe bambu yang digunakan pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Untuk gording dan kaso digunakan bambu tali. Untuk reng digunakah bilah bambu dari bambu tali Untuk gording dan kaso digunakan bambu tali. Untuk reng digunakah bilah bambu dari bambu tali</p>
	STRUKTUR UTAMA	<p>Bambu petung merupakan bambu yang kuat namun tidak liat, sehingga tepat digunakan untuk batang vertikal yang harus menahan beban tekan yang besar.</p> <p>Sedangkan untuk elemen tarik pada struktur portal, tidak menggunakan bambu petung, karena tahan tarik pada bambu besar, sehingga dimensi yang diperlukan lebih kecil.</p>	<p>Bambu petung dipilih untuk struktur busur ini karena kemampuan tekan yang besar. Akibat bambu petung tidak liat, radius lengkungan busur tidak dapat terlalu kecil, sehingga ruang yang diperoleh lebih rendah.</p> <p>Untuk elemen pengaku, gaya yang bekerja adalah tarik, sehingga dipilih bambu yang lebih kecil dimensinya (karena kemampuan tarik bambu lebih besar dari kemampuan tekannya), yaitu bambu tali.</p>
	KONS. ATAP	<p>Untuk elemen gording, kaso, dan reng, karakteristik liat amat diperlukan untuk elemen lengkung tersebut, sehingga dipilih bambu tali.</p>	<p>Untuk elemen gording, kaso, dan reng, karakteristik liat amat diperlukan untuk elemen lengkung tersebut, sehingga dipilih bambu tali.</p>

6.1.2. TECHNOLOGICAL PROPERTIES

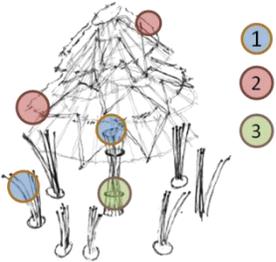
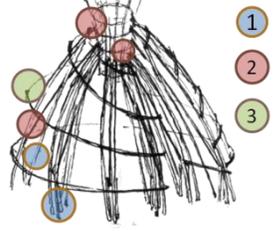
	"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
MOLDING PROCESS	<p>Untuk elemen lurus, digunakan material bambu utuh.</p> <p>Pada bangunan ini, elemen lengkungnya adalah : gording dan reng.</p> <p>Untuk gording, lengkungnya mempunyai radius yang besar, sehingga memanfaatkan ke'liat'an bambu tali.</p> <p>Untuk reng, menggunakan bilah bambu, sehingga sangat mudah untuk dilengkungkan.</p>	<p>Pada bangunan ini elemen lengkungnya adalah : busur, gording dan reng.</p> <p>Untuk busur, lengkungnya dibatasi oleh kemampuan lengkung bambu petung. Bambu petung yang berjumlah tiga diikat dan dikakukan setelah memperoleh kelengkungan yang diinginkan.</p> <p>Untuk gording, lengkungnya mempunyai radius yang besar, sehingga memanfaatkan ke'liat'an bambu tali.</p> <p>Untuk reng, menggunakan bilah bambu, sehingga sangat mudah untuk dilengkungkan.</p>
JOINT	<p>Joint yang digunakan adalah :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mur baut - Mur baut + tali ijuk (pada area tarik + tekan + geser) <div style="text-align: center;">  <p>Gambar 6.3 Sambungan mur baut pada "The Great Hall" OBI Campus</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Gambar 6.4 Sambungan mur baut + tali ijuk pada "The Great Hall" OBI Campus</p> </div>	<p>Joint yang digunakan adalah :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mur baut - Mur baut + tali bambu (pada area sambungan antar batang busur) <div style="text-align: center;">  <p>Gambar 6.5 Sambungan mur baut pada "Mepantigan" Green School</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Gambar 6.6 Sambungan ikat tali bambu pada "Mepantigan" Green School</p> </div>

6.1.3. GEOMETRICAL PROPERTIES

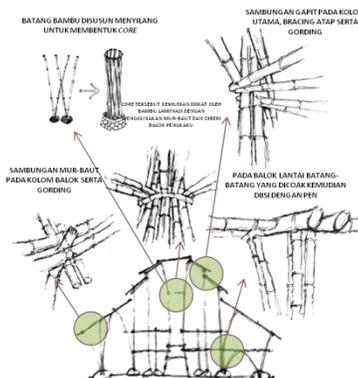
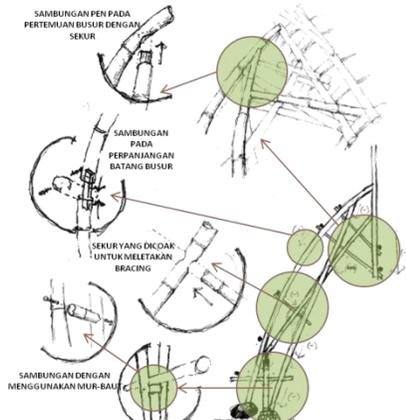
	"The Great Hall" OBI Campus	"Mepantigan", Green School
BENTUK	<p>Bambu utuh : untuk struktur utama, gording, kaso</p> <p>Bambu bilah : untuk reng</p>	<p>Bambu utuh : untuk struktur utama, gording, kaso</p> <p>Bambu bilah : untuk reng</p>
DIMENSI	 <p>Gambar 6.7 Dimensi dan jumlah material pada "The Great Hall" OBI Campus</p> <p>Struktur utama : (15 portal)</p> <ol style="list-style-type: none"> 4 batang vertikal untuk 1 kaki (16 batang untuk 1 portal) Ø 20 - 22 cm Batang diagonal antar vertikal : 2 batang Ø 13-15 cm Batang diagonal bagian bawah: 2 batang Ø 13 - 15 cm Batang diagonal bagian atas : 2 batang Ø 13-15 cm Batang-batang pada atap tengah : 2 batang Ø 13-15 cm <p>Gording : Ø 5-6 cm</p>	 <p>Gambar 6.8 Dimensi dan jumlah material pada "Mepantigan" Green School</p> <p>Struktur utama : (4 busur)</p> <ol style="list-style-type: none"> 3 batang busur Ø 20 - 22 cm Bracing : 5 batang Ø 13-15 cm <p>Gording : Ø 5-6 cm</p>

6.2. PROPERTI MATERIAL PADA BANGUNAN LENGKUNG TERPUSAT

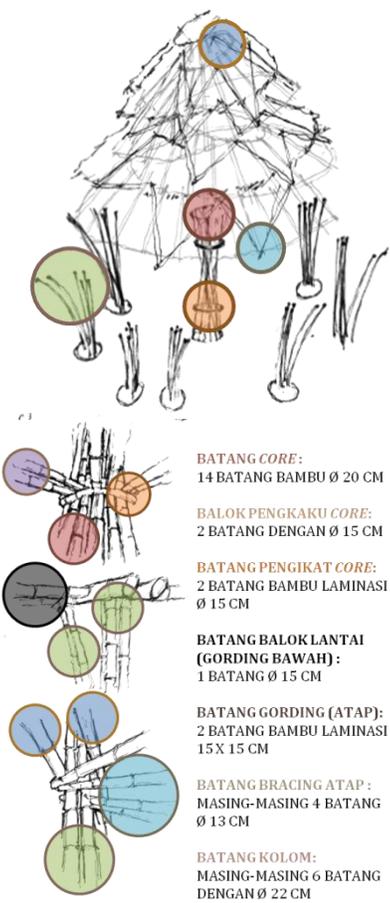
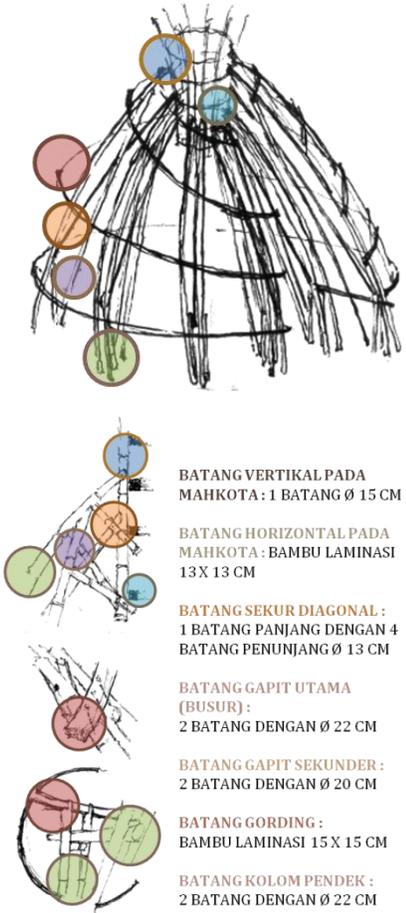
6.2.1. STRUCTURAL PROPERTIES

		"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
PROPERTI	TIPE BAMBU	 <p>Gambar 6.9 Tipe bambu yang digunakan pada "The Heart of Green School"</p> <p>Untuk kolom dan core digunakan bambu petung untuk dapat menahan tekan (1). Untuk batang-batang pada pelat digunakan bambu tali (2). Untuk gording dan kaso menggunakan bambu tali (2). Untuk pengikat core digunakan bilah bambu yang kemudian dilaminasi (3).</p>	 <p>Gambar 6.10 Tipe bambu yang digunakan pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p> <p>Untuk batang pada struktur utama yang menahan tekan digunakan bambu petung (1). Untuk batang lainnya pada busur digunakan bambu tali/apus (2). Untuk gording digunakan bambu bilah yang kemudian dilaminasi (3). Untuk kaso menggunakan bambu tali (2). Untuk reng digunakan bilah bambu dari bambu tali</p>
	STRUKTUR UTAMA	<p>Bambu petung dipilih untuk kolom karena kemampuan tekan yang besar. Bambu petung tidak liat, sehingga tidak mudah melendut. Untuk batang pada pelat, gaya yang bekerja adalah tekan-tarik, sehingga dipilih bambu yang memiliki kemampuan merata baik tarik tekan lentur, yaitu bambu tali. Untuk pengikat core, digunakan bambu bilah yang dilaminasi agar mampu dilengkungkan dengan radius yang kecil</p>	<p>Bambu petung merupakan bambu yang kuat namun tidak liat, sehingga tepat digunakan untuk batang utama yang harus menahan beban tekan yang besar.</p> <p>Sedangkan untuk elemen pengaku (yang menahan gaya hoop), tidak menggunakan bambu petung, karena tahan tarik pada bambu besar, sehingga dimensi yang diperlukan lebih kecil.</p>
	KONS. ATAP	<p>Untuk elemen gording, kaso, dan reng, karakteristik liat amat diperlukan untuk elemen lengkung tersebut, sehingga dipilih bambu tali.</p>	<p>Untuk elemen gording, karena radiusnya kecil digunakan bambu bilah yang dilaminasi. Untuk kaso, dan reng, karakteristik liat amat diperlukan untuk elemen lengkung tersebut, sehingga dipilih bambu tali.</p>

6.2.2. STRUCTURAL PROPERTIES

	"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
MOLDING PROCESS	<p>Untuk elemen lurus, digunakan material bambu utuh.</p> <p>Pada bangunan ini, elemen lengkungnya adalah : cincin core, balok pada pelat, gording dan reng.</p> <p>Untuk balok pada pelat dan gording, lengkungnya mempunyai radius yang besar, sehingga memanfaatkan ke'liat'an bambu tali.</p> <p>Untuk reng, menggunakan bilah bambu, sehingga sangat mudah untuk dilengkungkan.</p> <p>Untuk cincin core, radiusnya kecil sehingga menggunakan bilah bambu yang dibentuk kemudian dilaminasi.</p>	<p>Pada bangunan ini elemen lengkungnya adalah : busur, gording, kaso dan reng.</p> <p>Untuk busur, dan kaso lengkungnya memanfaatkan lentur dengan dibebani, sehingga melengkung dengan sendirinya..</p> <p>Untuk gording, lengkungnya mempunyai radius yang kecilk, menggunakan bilah bambu yang dibentuk lengkung kemudian dilaminasi.</p> <p>Untuk reng, menggunakan bilah bambu, sehingga sangat mudah untuk dilengkungkan.</p>
JOINT	<p>Joint yang digunakan adalah :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pen dan sekr + Mur baut - Mur baut  <p>Gambar 6.11 Macam-macam sambungan pada "The Heart of Green School"</p>  <p>Gambar 6.12 Sambungan pada core "The Heart of Green School"</p>	<p>Joint yang digunakan adalah :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mur baut - Coak + sekrur  <p>Gambar 6.13 Macam-macam sambungan pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>

6.2.3. GEOMETRICAL PROPERTIES

	"The Heart of Green School"	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
BENTUK	<p>Bambu utuh : untuk struktur utama (kolom & batang-batang pada pelat), gording, dan kaso</p> <p>Bambu bilah : untuk reng</p> <p>Bambu laminasi : untuk cincin core</p>	<p>Bambu utuh : untuk struktur utama,&kaso</p> <p>Bambu bilah : untuk reng</p> <p>Bambu laminasi : untuk gording</p>
DIMENSI	 <p>BATANG CORE: 14 BATANG BAMBU Ø 20 CM</p> <p>BALOK PENGKAKU CORE: 2 BATANG DENGAN Ø 15 CM</p> <p>BATANG PENGIKAT CORE: 2 BATANG BAMBU LAMINASI Ø 15 CM</p> <p>BATANG BALOK LANTAI (GORDING BAWAH): 1 BATANG Ø 15 CM</p> <p>BATANG GORDING (ATAP): 2 BATANG BAMBU LAMINASI 15 X 15 CM</p> <p>BATANG BRACING ATAP : MASING-MASING 4 BATANG Ø 13 CM</p> <p>BATANG KOLOM: MASING-MASING 6 BATANG DENGAN Ø 22 CM</p> <p>Gambar 6.7 Dimensi dan jumlah material pada "The Heart of Green School"</p>	 <p>BATANG VERTIKAL PADA MAHKOTA: 1 BATANG Ø 15 CM</p> <p>BATANG HORIZONTAL PADA MAHKOTA : BAMBU LAMINASI 13 X 13 CM</p> <p>BATANG SEKUR DIAGONAL : 1 BATANG PANJANG DENGAN 4 BATANG PENUNJANG Ø 13 CM</p> <p>BATANG GAPIT UTAMA (BUSUR): 2 BATANG DENGAN Ø 22 CM</p> <p>BATANG GAPIT SEKUNDER : 2 BATANG DENGAN Ø 20 CM</p> <p>BATANG GORDING : BAMBU LAMINASI 15 X 15 CM</p> <p>BATANG KOLOM PENDEK : 2 BATANG DENGAN Ø 22 CM</p> <p>Gambar 6.8 Dimensi dan jumlah material pada "Mandala Agung" Puri Ahimsa</p>

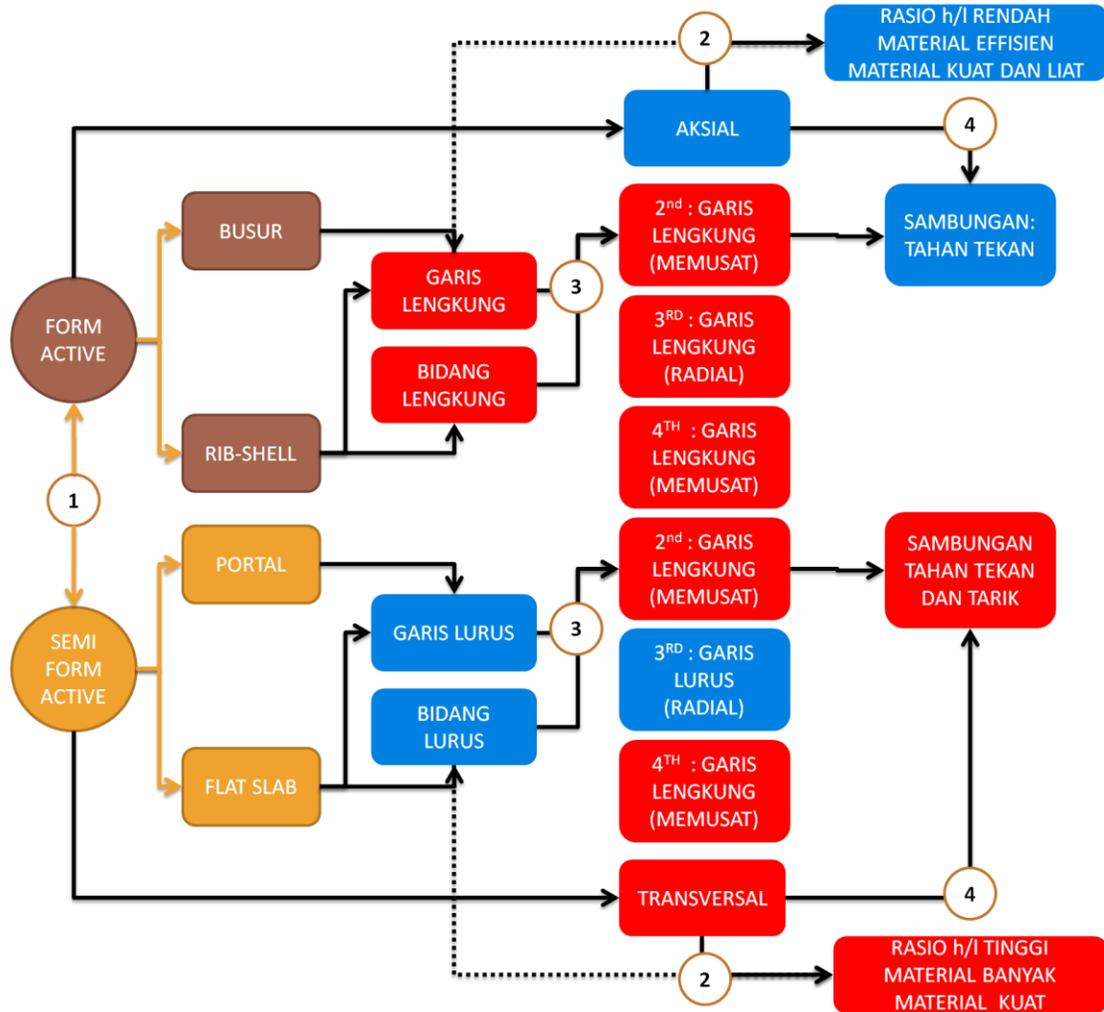
6.3. KOMPARASI PROPERTI MATERIAL

Setelah melakukan analisis deskriptif dari variabel properti material terhadap objek penelitian, maka dilakukan analisis komparatif sebagai berikut :

		"The Great Hall" OBI Campus	"Heart of Green School"	"Mepantigan" Green School	"Mandala Agung", Puri Ahimsa
A. STRUCTURAL PROPERTIES					
Tipe Bambu		Bambu Petung Bambu Tali			
Properti	Struktur Utama	Tahan tekan yang besar → bambu petung			
		Tahan tekan/tarik kecil/seimbang → bambu tali			
		Lentur → bambu			
	Konstruksi Atap	Tahan tarik/tekan dan lentur → bambu tali/bilah bambu			
		Lentur dengan radius kecil → bambu laminasi		Lentur dengan radius kecil → bambu laminasi	
B. TECHNOLOGICAL PROPERTIES					
Molding Process	Lurus	Bambu utuh			
	Lengkung	Memanfaatkan ke'liat'an material			
		membuat menjadi bilah bambu			
			Membuat bambu laminasi		Membuat bambu laminasi
Joint	Mur baut				
	Mur baut + tali ijuk	Pen-sekur + Mur baut	Mur baut + tali bambu	Pen-sekur + Mur baut	
C. GEOMETRICAL PROPERTIES					
Bentuk	Bambu utuh	Struktur utama, gording, kaso			Struktur utama, kaso
	Bambu bilah	reng			
	Bambu laminasi	-	Cincin core	-	gording
Dimensi	Jumlah struktur utama	15 portal	5 portal	4 busur	8 portal
	Jumlah bambu untuk 1 struktur utama	24 batang	20 pasang	8 batang	8 batang
	Total jumlah bambu untuk struktur utama	360 batang	100 batang	32 batang	64 batang

Tabel 6.1 Komparasi properti material bambu pada Bangunan Lengkung

Berikut ini adalah pola penyelusuran hubungan antar variabel ditinjau dari hasil analisis komparasi yang telah dilakukan, yaitu sebagai berikut :



Bagan 6.1 Pola penyelusuran hubungan antar variable properti material

Dari pola penyelusuran hubungan antar sub variabel diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sifat mekanika bambu yang tahan tekan dan tarik memungkinkan untuk menjadi material struktur tipe form active dan semi-form active.
2. Tipe struktur akan berpengaruh terhadap pemilihan jenis bambu dan jumlah bambu untuk elemen struktur utamanya, yaitu :

- **Semi-Form-Active** : dibutuhkan material bambu yang **kuat tekan/tarik seimbang**. Jumlah bambu yang diperlukan sangat **banyak**, sehingga untuk menjadi lebih efisien, diperlukan aplikasi **bentuk yang ditingkatkan (*improvement element*)**.
 - **Form-Active**: dibutuhkan material bambu yang **kuat tekan atau tarik** dengan **ke'liat'an** yang cukup untuk dilengkungkan. Jika bambu tidak memiliki ke'liat'an yang cukup dibutuhkan teknologi '*molding process*' (*hot process* atau *cold process*). Jumlah bambu yang diperlukan lebih **sedikit**, karena bentuknya sudah efisien untuk menahan beban.
3. Untuk material pada konstruksi atap, dimulai dari gording sudah merupakan elemen lengkung, sehingga dibutuhkan material dengan ke'liat'an yang cukup. Namun jika radius lengkung terlalu kecil, maka dibutuhkan teknologi '*molding process*'(pada objek studi ini digunakan teknik bambu laminasi)
4. Jenis sambungan yang digunakan seharusnya memperhatikan gaya yang bekerja pada batang-batang yang disambungannya dan memperhatikan tipe sambungannya (sendi, rol atau jepit).
- Untuk tipe struktur **form-active** : karena gaya yang bekerja **aksial tekan**, maka tipe sambungannya adalah **sendi/rol**, sambungan akan lebih **sederhana**.
 - Untuk tipe struktur **semi-form-active**: gaya yang bekerja adalah **tranversal** (momen dan geser), maka tipe sambungannya adalah **jepit**, sambungan akan menjadi lebih **kompleks**. Untuk menyederhanakan sambungan, dapat merubah elemen menjadi elemen rangka batang, sehingga tipe sambungannya dapat dirubah menjadi sendi.

BAB 7 | KESIMPULAN

7.1. KORELASI BENTUK ARSITEKTURAL, BENTUK STRUKTURAL, DAN MATERIAL PROPERTI PADA BANGUNAN LENGKUNG LINEAR DAN LENGKUNG TERPUSAT

1. **Konfigurasi bentuk arsitektural** pada bangunan lengkung linear dan lengkung tersebut :

- a. Bentuk denah lengkung dapat terbentuk dari :
 - konfigurasi radial-linear, memiliki sumbu 2 arah yang tidak sama kuat
 - konfigurasi terpusat, memiliki sumbu 2 arah yang sama kuat
- b. Baik bentuk dengan konfigurasi radial-linear atau terpusat dapat membentuk selubung bidang lengkung 1 arah atau 2 arah (synclastic)

2. **Sistem struktur pada bangunan lengkung**

- a. Sifat mekanika bambu yang tahan tekan dan tarik memungkinkan untuk menjadi material struktur tipe *form active* dan *semi-form active*.
- b. Konfigurasi linear ataupun terpusat dapat menerapkan tipe struktur:
 - ***form active***
 - ***semi-non active***.
- c. Perancang memiliki peranan dalam menentukan tipe struktur yang akan digunakan.
- d. Arsitek berperan besar dalam menentukan jenis **sistem struktur** yang digunakan, karena akan berpengaruh pada kualitas bentuk dan ruangnya. Pemilihan sistem struktur bergantung pada bentuk dan ruang arsitekturalnya, yaitu terkait dengan:
 - **tatanan bentuk bangunan** (linear atau terpusat)
 - kebutuhan **lebar dan panjang ruang** yang diperlukan (bentang).

e. Tipe struktur akan berpengaruh terhadap pemilihan jenis bambu dan jumlah bambu untuk elemen struktur utamanya, yaitu :

2. **Semi-Form-Active** : dibutuhkan material bambu yang **kuat tekan/tarik seimbang**. Jumlah bambu yang diperlukan sangat **banyak**, sehingga untuk menjadi lebih efisien, diperlukan aplikasi **bentuk yang ditingkatkan (improvement element)**.

3. **Form-Active**: dibutuhkan material bambu yang **kuat tekan atau tarik** dengan **ke'liat'an** yang cukup untuk dilengkungkan. Jika bambu tidak memiliki ke'liat'an yang cukup dibutuhkan teknologi '*molding process*' (*hot process* atau *cold process*). Jumlah bambu yang diperlukan lebih **sedikit**, karena bentuknya sudah efisien untuk menahan beban.

3. Elemen struktural dan konfigurasi

a. Selain pertimbangan bentuk arsitekturalnya, pemilihan tipe struktur juga dipengaruhi oleh bentuk elemen strukturalnya. Karena artikulasi elemen struktur ini dapat mempengaruhi artikulasi arsitekturalnya. Untuk bangunan lengkung ini, elemen strukturalnya dapat berupa garis dan/atau bidang lengkung dan juga dapat berupa garis/bidang lurus.

- Tipe struktur **form-active**, akan terbentuk dari elemen struktural **garis/bidang lengkung**,
- Tipe struktur **semi form-active**, akan terbentuk dari elemen struktural **garis/bidang lurus**.

b. Korelasi dari pemilihan geometri elemen struktural terhadap konfigurasi elemen strukturalnya adalah :

- Jika geometri elemen struktur adalah **garis lengkung** maka **elemen struktur dapat disusun secara linear**
- Jika geometri elemen struktur adalah **bidang lengkung, garis lurus atau bidang lurus**, maka elemen struktur **hanya dapat disusun secara radial/terpusat**.

c. Pada tipe struktur **semi form active**, batang **kaso** dapat dibuat dari **elemen lurus**, sehingga akan **mempermudah** ketika konstruksi. Pada tipe struktur **form active**, batang **kaso** merupakan **elemen**

lengkung, yang akan **mempersulit** ketika konstruksi dan sambungannya (jumlah batang kaso akan banyak).

- d. Untuk material pada konstruksi atap, dimulai dari gording sudah merupakan elemen lengkung, sehingga dibutuhkan material dengan ke'liat'an yang cukup. Namun jika radius lengkung terlalu kecil, maka dibutuhkan teknologi '*molding process*'(pada objek studi ini digunakan teknik bambu laminasi)

4. Penyaluran beban

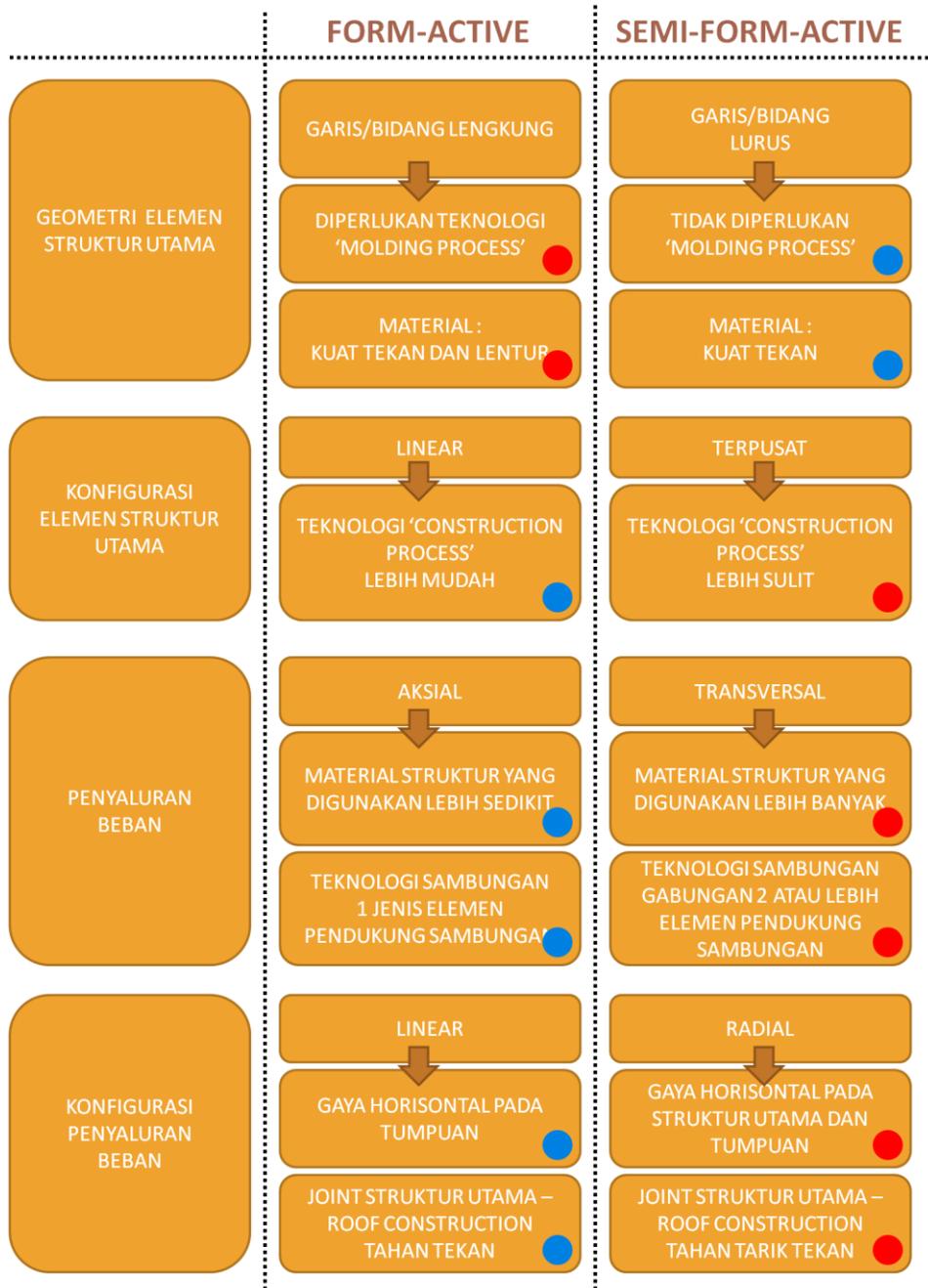
- a. Korelasi dari konfigurasi bangunan akan mempengaruhi konfigurasi elemen struktur yang kemudian akan berpengaruh pada konfigurasi penyaluran bebannya :
4. Konfigurasi elemen struktur **linear**, maka konfigurasi penyaluran bebannya **linear**
 5. Konfigurasi elemennya **terpusat**, maka konfigurasi penyaluran bebannya **radial**
- b. Konfigurasi penyaluran beban **radial** akan menyebabkan munculnya **gaya horisontal pada struktur utama dan tumpuan** → diperlukan **elemen struktur penahan pada struktur utama** (e.g. bracing) dan **pada tumpuan** (e.g. buttress/sloof tarik). Sedangkan pada penyaluran beban **linear**, gaya horisontal hanya terjadi pada **tumpuan** saja.
- c. Penyaluran beban yang terjadi pada elemen struktur dipengaruhi oleh tipe struktur :
6. Tipe struktur **form active**, penyaluran bebannya adalah **aksial**.
 7. Tipe struktur **semi-form active**, penyaluran bebannya **aksial - transversal**. Hal ini akan memunculkan gaya momen pada elemen struktural yang akan mempengaruhi bentuk dan dimensi elemennya.
- d. Penyaluran beban akan mempengaruhi rasio h/l :
- Aksial → rasio h/l rendah
 - Transversal → rasio h/l besar, kecuali memanfaatkan sistem pelat. Namun sistem pelat datar tidak cocok untuk bentang yang lebar. Bentuk pelat harus ditingkatkan (*improvement element*) untuk melawan momen.

5. Jenis Sambungan

- a. Pada tipe struktur '**form active**', elemen struktur diatas elemen struktur utama merupakan elemen lengkung dengan konfigurasi memusat/radial. **Tidak adanya gaya horisontal** → **sambungan gording** – main structure, cukup menahan **gaya tekan**
- b. Penyaluran beban akan mempengaruhi jenis sambungan :
 - Pada penyaluran beban **aksial**, sambungan menahan gaya **tekan** sehingga jenis sambungan yang memungkinkan adalah **sendi**. Untuk material bambu, sambungan sendi ini lebih **sederhana**.
 - Sedangkan pada penyaluran beban **tranversal**, sambungan harus menahan tahan **tekan, tarik, lentur, geser**, sehingga jenis sambungan yang memungkinkan adalah **jepit**. Untuk material bambu, untuk membuat sambungan jepit itu lebih **kompleks**. Sambungan jepit bisa diperoleh dari rangkaian sambungan sendi (dengan membuatnya menjadi rangka batang, atau sistem balok menerus)
- c. Jenis sambungan yang digunakan seharusnya memperhatikan gaya yang bekerja pada batang-batang yang disambungannya dan memperhatikan tipe sambungannya (sendi, rol atau jepit).
 8. Untuk tipe struktur **form-active** : karena gaya yang bekerja **aksial tekan**, maka tipe sambungannya adalah **sendi/rol**, sambungan akan lebih **sederhana**.
 9. Untuk tipe struktur **semi-form-active**: gaya yang bekerja adalah **tranversal** (momen dan geser), maka tipe sambungannya adalah **jepit**, sambungan akan menjadi lebih **kompleks**. Untuk menyederhanakan sambungan, dapat merubah elemen menjadi elemen rangka batang, sehingga tipe sambungannya dapat dirubah menjadi sendi.

7.2. KOMPARASI BENTUK STRUKTURAL – PROPERTI MATERIAL PADA STRUKTUR ‘FORM-ACTIVE’ DAN ‘SEMI-FORM-ACTIVE’

Berikut ini adalah hasil dari komparasi bentuk struktural – properti material pada struktur ‘form-active’ dan ‘semi-form-active’ :



Bagan 7.1 Komparasi tipe struktur ‘form-active’ dan ‘semi-form-active’

Berikut ini adalah hal-hal yang menjadi keuntungan dan hal-hal yang perlu diperhatikan ketika akan memutuskan struktur dan konstruksi bambu pada bangunan lengkung:

1. Bangunan dengan struktur '*form-active*'

Keuntungan dalam rancangan struktur ini :

- Konfigurasi elemen strukturnya memungkinkan untuk konfigurasi linear, sehingga proses konstruksi menjadi lebih mudah
- Gaya yang bekerja adalah aksial, sehingga lebih efisien dalam penggunaan material dan teknik sambungan yang diperlukan lebih sederhana.
- Memungkinkan untuk konfigurasi penyaluran bebannya linear, sehingga tidak terjadi gaya horizontal pada struktur utama, sehingga sambungan struktur utama dan konstruksi atap (*gording*) hanya menahan tekan (sambungan menjadi lebih sederhana)

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam rancangan struktur ini:

- Elemen struktur utamanya adalah garis/bidang lengkung, sehingga diperlukan teknologi '*molding process*' untuk melengkungkan elemennya
- Material elemen struktur utama harus memiliki kuat tekan dan ke'liat'an yang cukup untuk dilengkungkan.

2. Bangunan dengan struktur '*semi-form-active*'

Keuntungan dalam rancangan struktur ini :

- Elemen struktur utamanya adalah elemen garis, sehingga teknologi '*molding process*' dan konstruksinya lebih mudah dibanding dengan elemen lengkung.
- Material elemen struktur utama mengandalkan kuat tekan dan kuat tarik.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam rancangan struktur ini:

- Konfigurasi elemen struktur utamanya adalah radial (terpusat) sehingga proses konstruksi akan lebih sulit.
- Penyaluran beban pada tipe struktur ini adalah transversal, gaya yang bekerja momen dan geser, maka tipe sambungannya adalah **jepit**, sambungan akan menjadi lebih **kompleks**. Untuk menyederhanakan sambungan, dapat merubah elemen menjadi elemen rangka batang, sehingga tipe sambungannya dapat dirubah menjadi sendi.
- Konfigurasi penyaluran bebannya adalah radial, sehingga menimbulkan gaya horizontal (gaya melingkar/*hoop*) pada struktur utamanya. Hal ini menyebabkan sambungan struktur utama dan konstruksi atap (*gording*) tidak hanya menahan tekan namun juga menahan tarik arah horizontal.

7.3. PENUTUP

Bentuk lengkung dengan material strukturalnya adalah bambu, dapat menggunakan berbagai macam sistem struktur. Karena beragamnya sistem struktur yang dapat diterapkan, maka perancang perlu memperhatikan hal-hal berikut ini:

- **Bentuk dan konfigurasi elemen struktur** dalam hubungannya dengan bentuk arsitektural yang ingin dicapai dan juga dengan teknologi konstruksi (untuk membentuk dan membangun) yang dimiliki oleh masyarakat setempat.
- **Penyaluran beban** dalam hubungannya dengan pemilihan material bambu sesuai dengan properti materialnya.
- **Jenis sambungan** yang digunakan dalam hubungan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhisaksana, Jati. (2013). *Pemanfaatan Struktur Busur Bambu Sebagai Elemen Estetika pada Bangunan Mandala Agung, Puri Ahimsa, Bali*. Skripsi tidak diterbitkan. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Charleson, Andrew W. (2006). *Structure As Architecture: A Source Book For Architects And Structural Engineers*. Elsevier: Burlington.
- Ching, Francis D.K. (2008). *Arsitektur: Bentuk, Ruang, Dan Tataan Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Ching, Francis D.K. (2009). *Building Structure Illustrated: Patterns, Systems, and Design*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Frick, Heinz. (2004). *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu: Pengantar Konstruksi Bambu*. Yogyakarta: Kanisius.
- Joy, Benido. (2013). *Aplikasi Material Bambu pada Struktur dan Konstruksi Bangunan Heart of School Bali*. Skripsi tidak diterbitkan. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Krisanti, Janice. (2013). *Relasi Bentuk dan Struktur pada Bangunan Bambu Bentang Besar: "The Great Hall", OBI Eco-Campus, Jatiluhur*. Skripsi tidak diterbitkan. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Macdonald, Angus J. (2002). *Struktur & Arsitektur: Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Otto, Frei. (1985). *IL 31 Bambus Bamboo*. Stuttgart: Institute for Lightweight Structure.
- Sandaker, Bjorn N. (2008). *On Span and Space: Exploring Structure in Architecture*. New York: Routledge.
- Schodek, Daniel L. (1999). *Struktur*. Jakarta: Erlangga.
- Wahyudi, Prakarsa. (2011). *Pemanfaatan Bambu sebagai Material Struktur Bentang Besar Busur: Mepantigan, Green School, Bali*. Skripsi tidak diterbitkan. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Wicaksono, Louis L. (2012). *Estetika Struktur Bambu Pada Bangunan Main Hall Outward Bound Indonesia, Jatiluhur, Purwakarta*. Skripsi tidak diterbitkan. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.