

**PENINGKATAN DURABILITAS BAMBU SEBAGAI
KOMPONEN KONSTRUKSI MELALUI DESAIN BANGUNAN
DAN PRESERVASI MATERIAL**



Disusun Oleh:

Ketua Peneliti :

Ir. EB. Handoko, MT. (Arsitektur)

Tim Peneliti :

Anastasia Maurina, ST., MT. (Arsitektur)

Budianastas P., ST., MT. (Arsitektur)

Ricky Gustin (Mahasiswa Prodi Arsitektur)

Bernadette Sudira (Mahasiswa Prodi Arsitektur)

Jesslyn Priscila (Mahasiswa Prodi Arsitektur)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	1
ABSTRAK.....	2
BAB 1 PENDAHULUAN	3
1.1 Latar belakang.....	3
1.2 Rumusan Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Khusus dan Target Luaran	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Urgensi Penelitian.....	4
BAB 2 STUDI PUSTAKA	5
2.1 Road Map Penelitian	5
2.2 Material Bambu	6
2.3 Preservasi Melalui Rancangan.....	8
2.4 Preservasi Material Bambu	10
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Jenis Penelitian.....	17
3.2 Objek Penelitian.....	17
3.3 Kerangka Pemikiran	17
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	18
3.5 Teknik Analisis Data	19
3.6 Tahapan Penelitian.....	19
BAB 4 JADWAL PELAKSANAAN.....	20
4.1. Jadwal Penelitian	20
4.2. Kontribusi penelitian	20
BAB 5 PELAKSANAAN DAN PEMBAHASAN	21
5.1. Observasi Variabel Perancangan Pada Objek Studi.....	21
5.2. Pembahasan Variabel Preservasi Bambu dengan Pengawetan.....	39
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	50
6.1. Kesimpulan	50
6.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54

ABSTRAK

PENINGKATAN DURABILITAS BAMBU SEBAGAI KOMPONEN KONSTRUKSI MELALUI DESAIN BANGUNAN DAN PRESERVASI MATERIAL

Oleh

**EB. Handoko, Anastasia Maurina, Budianastas P.,
Ricky Gustin, Bernadette Sudira, Jesslyn Priscila**

Bambu mulai (kembali) dipertimbangkan sebagai bahan bangunan pengganti kayu. Faktor penyebabnya adalah kelangkaan suplai kayu mendorong peningkatan harga bahan ini sehingga tidak terjangkau lagi oleh kebanyakan masyarakat yang membutuhkan hunian atau bangunan lain. Secara tradisional bambu sudah sangat banyak digunakan dalam penyediaan bangunan secara mandiri dan tradisional di masyarakat Jawa Barat. Secara populer bambu sudah diakui memiliki kekuatan cukup tangguh sebagai penunjang proses konstruksi.

Walaupun demikian, bambu memiliki kelemahan dalam hal daya tahan dan keawetan. Umur bambu yang digunakan pada bangunan atau konstruksi tergolong pendek, hanya 1-5 tahun. Ini terjadi karena ada dua faktor utama yang berpengaruh, yaitu cuaca (hujan, panas matahari) dan serangan serangga (kutu bubuk). Karenanya selama ini bambu hanya dikenal sebagai bahan bangunan untuk konstruksi temporer atau sebagai bahan bangunan kelas 3. Kelemahan dan citra buruk tersebut menenggelamkan potensi besar bambu sebagai bahan bangunan alternatif di tengah kelangkaan kayu.

Bambu secara biologis tumbuh dan mencapai usia siap pakai jauh lebih cepat daripada pohon kayu pada umumnya. Kekuatan dan kelenturannya secara populer sudah diakui. Maka pertanyaan penelitiannya adalah “Bagaimana upaya perancangan bangunan dengan material bambu dapat ditingkatkan durabilitasnya sebagai bahan bangunan?” dan “Bagaimana upaya untuk meningkatkan durabilitas dan kelas awet bamboo melalui tindakan preservasi?”

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan menggabungkan 2 (dua) metode penelitian yaitu *Field Research* dan *Experimental Research*. *Field Research* dilakukan dengan menganalisis secara deskriptif kualitatif objek penelitian untuk menganalisis upaya peningkatan durabilitas melalui rancangan ataupun preservasi materialnya. Objek Penelitian pada penelitian ini adalah Bamboe Kuning Restaurant (Ubud, Bali), OBI Campus (Jatiluruh), dan Bamboo Musholla (Desa Cibodas). Sedangkan *Experimental Research* dilakukan untuk menguji teknik preservasi material bambu.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan penerapan material bambu dalam arsitektur. Pemanfaatan material bambu sebagai material yang berkelanjutan tidak akan berkembang tanpa peningkatan durabilitas bambunya. Perancangan arsitektur bambu yang baik harus didukung oleh kualitas material yang baik

Kata kunci: bambu, durabilitas, preservasi melalui rancangan, pengawetan bambu

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Saat ini kayu, terutama untuk kelas awet 1 & 2, menjadi bahan bangunan yang tergolong berharga mahal. Faktor kelangkaan suplai kayu mendorong peningkatan harga bahan ini sehingga tidak terjangkau lagi oleh kebanyakan masyarakat yang membutuhkan hunian atau bangunan lain. Hal ini membuat bambu mulai (kembali) dipertimbangkan sebagai bahan bangunan pengganti kayu.

Secara tradisional bambu sudah sangat banyak digunakan dalam penyediaan bangunan secara mandiri dan tradisional di masyarakat Jawa Barat. Secara populer bambu sudah diakui memiliki kekuatan cukup tangguh sebagai penunjang proses konstruksi. Walaupun demikian, bambu memiliki kelemahan dalam hal daya tahan dan keawetan. Umur bambu yang digunakan pada bangunan atau konstruksi tergolong pendek, hanya 1-5 tahun. Ini terjadi karena ada dua faktor utama yang berpengaruh, yaitu cuaca (hujan, panas matahari) dan serangan serangga (kutu bubuk). Karenanya selama ini bambu hanya dikenal sebagai bahan bangunan untuk konstruksi temporer atau sebagai bahan bangunan kelas 3.

1.2 Rumusan Permasalahan

Kelemahan dan citra buruk tersebut menenggelamkan potensi besar bambu sebagai bahan bangunan alternatif di tengah kelangkaan kayu. Bambu secara biologis tumbuh dan mencapai usia siap pakai jauh lebih cepat daripada pohon kayu pada umumnya. Kekuatan dan kelenturannya secara populer sudah diakui. Maka pertanyaan penelitiannya adalah:

1. Bagaimana upaya perancangan bangunan dengan material bambu dapat ditingkatkan durabilitasnya sebagai bahan bangunan?
2. Bagaimana upaya untuk meningkatkan durabilitas dan kelas awet bamboo melalui tindakan preservasi?

1.3 Tujuan Khusus dan Target Luaran

Inisiatif penelitian ini datang dari program studi arsitektur, sebagai bagian dari pendekatan dalam kegiatan pendidikan arsitektur, bahwa:

- Pemilihan bahan bangunan bagian dari proses perancangan
- Bahan dengan potensi yang baik perlu dikenali karakter dan jangkauan kemampuannya
- Pemanfaatan material harus tepat guna dalam rancangan arsitektur
- Arsitek perlu mengupayakan eksplorasi bahan bangunan sebagai bagian dari upaya berkontribusi kepada publik

Pada akhirnya perancangan arsitektur adalah bagian dari upaya edukasi publik

Target luaran penelitian ini adalah:

1. Makalah ilmiah
2. Materi workshop konstruksi pada Parahyangan Bamboo Nation 2
3. Penyusunan Proposal Hibah Kompetensi
4. Penyusunan Materi Kuliah Pilihan Arsitektur Bambu

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan penerapan material bambu dalam arsitektur.

1.5 Urgensi Penelitian

Pemanfaatan material bambu sebagai material yang berkelanjutan tidak akan berkembang tanpa peningkatan durabilitas bambunya. Perancangan arsitektur bambu yang baik harus didukung oleh kualitas material yang baik.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

2.1 Road Map Penelitian

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



Bagan 2.1 Road Map Penelitian

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya:

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

Publikasi-publikasi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya:

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

Karya-karya lain yang berkaitan dengan topik tersebut:

1. Juara 3 Instalasi seni: *Stairway to Heaven* – Lombok International Bamboo Architecture Festival (2013)
2. Pengabdian Masyarakat : Musholla Bambu di Desa Cibodas

2.2 Material Bambu

Pada habitat alaminya, bambu tumbuh melalui biji atau rizoma. Bagi bambu rizoma sangat penting karena merupakan fondasi pada bambu karena bambu tidak memiliki batang utama seperti pada kayu. Sebagai tanaman bambu juga mampu mencegah erosi, perlindungan tepian sungai, mencegah longsor, serta rehabilitasi lahan.

Bambu merupakan tanaman yang mudah didapati khususnya di Indonesia, serta mudah dan cepat tumbuh (*renewable*). Beberapa jenis bambu memiliki kecepatan tumbuh hingga mencapai 90 cm per hari. Bambu yang mencapai umur 3-6 tahun dapat digunakan untuk struktur dan konstruksi sebuah bangunan, jauh begitu lebih cepat daripada kayu yang membutuhkan 10-30 tahun untuk memenuhi syarat kekuatan sebagai material struktur dan konstruksi. Selain itu bambu membutuhkan ruang tumbuh yang minim sehingga tergolong ke dalam tanaman *biomass* yang mampu memproduksi 10 ton bambu per hektarnya. Bahkan dengan manajemen penanaman yang baik dapat memproduksi hingga 20 – 30 ton per hektar per tahunnya.

Pada pengaplikasian sebagai material struktural, konsentrasi utama terletak pada keselamatannya. Dari segi kekuatan, bambu dapat dikatakan lebih baik ketimbang material struktur lainnya (kayu, baja, beton). Untuk itulah bambu dapat menjadi material alternatif konstruksi yang baik dan bersikap sustainable. Dari segi ketahanan terhadap gempa, bambu juga memiliki ketahanan yang lebih besar daripada material lainnya sehingga bambu dapat dikatakan cocok sebagai material tahan gempa.

Tidak seperti material kayu yang setiap tahun mengalami pertumbuhan dalam panjang dan diameternya, bambu tidak mengalami pertumbuhan pada diameternya, hal ini disebabkan karena bambu tidak memiliki kambium. Maka dari itu berbeda dengan kayu yang dapat dimodifikasi dalam berbagai ukuran dan dimensi konstruksi, material bambu hanya dapat digunakan sebagai batang pipa dengan variasinya sesuai dengan jenis bambunya. Bentuk batang seperti pipa ini membedakan material bambu dengan material kayu dalam sambungan konstruksinya, yaitu lebih tepat jika menggunakan pengikatan dengan bermacam tali.

Kelebihan bambu:

- Bahan Alami yang dapat diperbaharui dan bersifat berkelanjutan
- Bersifat ekologis (ramah lingkungan)
- Sangat cepat pertumbuhannya (hanya memerlukan 3 s/d 6 tahun untuk siap tebang guna memenuhi persyaratan sebagai material konstruksi)
- Pada berat jenis yang sama, kuat tarik bambu lebih tinggi dibandingkan kuat tarik baja mutu sedang
- Ringan
- Bahan konstruksi yang relatif murah
- Memiliki efisiensi teknis (cepat dan mudah dalam pengerjaannya)
- Merupakan material tahan gempa yang baik

Kekurangan bambu:

- Rentan terhadap rayap.
- Rentan terhadap air dan api
- Jarak ruas dan diameter yang tidak sama dari ujung sampai pangkalnya.

Dari 189 jenis bambu yang teridentifikasi di dunia, terdapat 4 jenis bambu yang lazim digunakan sebagai konstruksi di Indonesia, khususnya di Jawa Barat, yaitu bambu tali/apus, bambu gombang, bambu haur, dan bambu wulung/hitam. Dari keempat bambu tersebut, masing-masing memiliki karakteristik tersendiri baik dari sifat ataupun ukuran dimensinya. Maka dalam penggunaannya dalam pembuatan konstruksi bangunan perlu diperhatikan pula perbedaan karakteristik masing-masing jenis bambu.

Bambu tali/apus (<i>Gigantochloa apus</i>)	
 <p>Sumber: http://www.earthcare.com.au</p>	<p>Memiliki sifat yang sangat liat dengan jarak ruas sampai 65 cm, garis tengah 40-80 mm, panjang batang 6-13 m.</p>
Bambu gombang (<i>Gigantochloa pseudoarundinaceae</i>)	
 <p>Sumber: http://www.guaduabamboo.com</p>	<p>Memiliki kekuatan yang besar dengan jarak ruas 30-40cm dan dinding tebal, tidak begitu liat, memiliki garis tengah 70-150 mm, serta panjang batang 7-30 m.</p> <p><i>The Bamboos Of The World – D. Ohmberger – Elsevier, 1999, Elsevier Science BV, Amsterdam, The Netherlands</i></p>
Bambu Haur (<i>Bambusa vulgaris vulgaris</i>)	
 <p>Sumber: http://www.guaduabamboo.com</p>	<p>Jarak ruas 20-45 cm, berdinding sedang tebal 7-15mm, kulit bagian luar berwarna hijau muda, halus dan licin, cenderung lebih keras dari bambu lainnya. Garis tengah bambu 40-100 mm, panjang batang 11-20 m.</p> <p>http://www.bambunusaverde.com</p>
Bambu wulung/hitam (<i>Gigantochloa atroviolacea</i>)	
 <p>Sumber: http://www.bambooland.com.au</p>	<p>Memiliki jarak ruas panjang seperti bambu tali/apus, namun tebal dindingnya mencapai 20 mm dan tidak liat. Garis tengah bambu 40-100 mm, panjang batang 8-16 m</p>

Tabel 2.1 Jenis Bambu yang umum digunakan di Jawa Barat

Bambu yang adalah material biologis merupakan material yang tidak tahan terhadap api. Ketahanan bambu terhadap api berbeda-beda tergantung reaksi bambunya. Bambu yang terbakar akan bereaksi dengan membelah diri/retak. Namun bambu memiliki kelebihan dengan kepadatan serat pada dinding luarnya dan kadar asam kersik yang tinggi menyebabkan bambu lebih sulit terbakar dibandingkan material biologis lainnya seperti kayu.

2.3 Preservasi Melalui Rancangan

Peningkatan durabilitas bambu tidak terlepas dari desain sebuah struktur bambu. Perlakuan yang diberikan kepada bambu menjadi hal yang perlu diperhatikan dan menentukan tingkat durabilitas bambu sendiri. Hal inilah yang menjadi tugas para arsitek untuk mempertahankan ketahanan bambu di samping penggunaan teknologi dan bahan kimia yang dapat memperpanjang umur bambu. Desain arsitekturlah yang memberikan dampak jangka panjang dalam membuat bambu sebagai material yang *sustainable*. Berikut dijelaskan tentang beberapa poin desain yang harus diperhatikan untuk meningkatkan durabilitas sebuah konstruksi bambu.

2.3.1 Pencegahan Kontak Langsung dengan Air

Salah satu musuh utama non-biologis bambu adalah air. Saat digunakan sebagai konstruksi sebuah bangunan, bambu harus selalu ditempatkan pada daerah yang kering dan terhindar dari air. Dalam hal ini artinya bambu harus terbebas dari air menggenang ataupun percikan air hujan. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan kekuatan bambu menurun dan mudah lapuk. Bambu yang memiliki kontak langsung dengan air hanya memiliki umur 1-3 tahun, namun jika dibiarkan berhubungan langsung dengan air laut hanya akan memiliki umur kurang dari 1 tahun karena serangan mikroorganisme laut.

Upaya desain yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini adalah:

- a. Pemilihan site yang tepat. Site yang kurang baik bagi bangunan bambu adalah area rawan banjir, area sungai/parit, tanah cekung yang diurug, dan tanah tebing yang diurug. Site yang baik adalah tanah datar dan keras serta teras yang dinaikan untuk mencegah bambu bersentuhan dengan tanah
- b. Pemberian teritisan yang cukup untuk mencegah percikan air hujan terhadap struktur bambu
- c. Penempatan struktur bambu jauh dari daerah yang basah/daerah pantai

2.3.2 Pencegahan Kontak Langsung dengan Tanah

Struktur bambu sebaiknya tidak bersentuhan langsung dengan tanah. hal ini dikarenakan tanah memiliki kandungan air dan kelembaban yang tinggi. Struktur bambu yang bersentuhan langsung dengan tanah menyebabkan air dari tanah dapat menyerap ke dalam batang bambu yang dapat menyebabkan kebusukan pada batang bambu. Maka dalam desain, biasanya pada struktur bambu digunakan pondasi beton, batu kali, ataupun bata untuk mencegah bambu yang bersentuhan langsung dengan tanah. Biasanya pondasi dinaikan dari permukaan tanah untuk mencegah genangan air hujan mengenai bambu.

2.3.3 Aliran udara yang baik

Dalam perencanaan struktur dan konstruksi bambu, diperlukan adanya aliran udara yang baik untuk mencegah kelembaban pada struktur bambu. Kelembaban udara yang tinggi dapat merupakan tempat yang cocok untuk habitat jamur. Jika bambu memiliki aliran udara yang baik, maka jika terkena air sekalipun, bambu yang basah akan cepat kering sehingga tidak mengundang jamur. Dalam hal ini kreativitas arsitek diperlukan untuk memberikan penghawaan alami yang cukup. Salah satu penyelesaian desainnya yang umum adalah dengan membiarkan bangunan bambu bersifat terbuka (*open-plan*) sehingga memiliki penghawaan yang baik. Di samping itu pengadaan bangunan bambu dengan sistem panggung juga dapat memberikan aliran udara yang baik bagi bagian dasar bangunan.

2.3.4 Keadaan cuaca dan lingkungan

Keawetan Bambu sangat ditentukan dengan keadaan cuaca dan lingkungan yang mendukung. Bambu (tanpa pengawetan) yang dibiarkan tidak terlindung dari cuaca hanya memiliki umur pakai sekitar 1-3 tahun. Seperti yang telah disebutkan di poin sebelumnya, iklim mikro sangat berpengaruh dalam meningkatkan durabilitas bambu seperti kelembaban, dan cahaya langsung matahari. Kelembaban dapat menimbulkan jamur, sedangkan bambu yang terkena sinar matahari langsung dapat menimbulkan keretakan pada bambu yang dapat melemahkan bambu. Dalam hal ini juga diperlukan penyelesaian desain oleh arsitek dimulai dari penentuan orientasi bangunan terhadap arah matahari serta penyelesaian pelindung bambu terhadap panasnya matahari. Dari segi lingkungan, struktur bambu juga sebaiknya tidak memiliki kontak langsung dengan vegetasi eksisting. Vegetasi memiliki kelembaban yang tinggi, dengan begitu kontak langsung dengan vegetasi dapat menyebabkan bambu menjadi lembab dan mudah ditumbuhi oleh jamur.

2.3.5 Penggunaan Bambu dalam Desain

Tingkat durabilitas bambu juga sangat ditentukan dengan bagaimana bambu tersebut digunakan dalam desain. Bambu yang digunakan utuh akan bertahan lebih lama daripada bambu yang telah dibelah. Hal ini dikarenakan ketahanan bambu pada bagian luar lebih kuat dibandingkan dengan bagian dalam bambu. Bambu yang sudah dibelah memudahkan hama dan jamur masuk ke bagian dalam dari bambu dan merusak bambu. Selain itu, detail-detail konstruksi dan arsitektural pada struktur bambu harus diperhatikan, seperti penyelesaian di setiap ujung bambu. Ujung bambu yang terbuka dapat menjadi sarang untuk hama dan jamur.

Untuk bahaya terhadap api, dapat diminimalisasi dalam desain. Bambu yang didesain dengan posisi horizontal akan lebih baik daripada posisi diagonal, dan posisi diagonal akan lebih baik daripada posisi vertikal. Hal ini disebabkan oleh nyala api yang selalu ke atas. Dengan begitu kecepatan rambat api pada bambu dengan posisi horizontal lebih lama dengan rambat api pada bambu dengan posisi vertikal.

Sambungan-sambungan (*joint*) bambu harus diperhatikan agar tidak menyebabkan kerusakan pada bambu itu sendiri. Joint yang tidak benar seperti menggunakan paku dapat menyebabkan kerusakan seperti keretakan pada bambu yang dapat mengurangi daya tahan bambu. Alat sambungan yang tidak merusak bambu adalah dengan menggunakan tali, mur dan baut.

Estimasi umur bambu berdasarkan perlakuan terhadap bambu:

- 1-3 tahun: Tidak terlindung dari cuaca dan kontak langsung dengan tanah
- 4-6 tahun: Terlindung dari cuaca dan tidak terjadi kontak dengan tanah
- 10-15 tahun: Dalam iklim mikro yang sesuai dan kondisi yang baik

Umur bambu tersebut diestimasi melalui desain yang baik dan benar. Dengan pengawetan dan perawatan yang baik dan berkala dapat meningkatkan umur bambu tersebut. Bangunan bambu yang didesain, diawetkan dan dirawat dengan baik dan benar dapat mencapai umur 40 tahun (Mc Clure 1945).

Kegagalan desain bambu dapat menyebabkan penurunan durabilitas bambu. Jika kerusakan bambu terjadi karena desain yang salah, maka akan sulit untuk diperbaiki. Dalam hal ini pengawetan dan perawatan hanya dapat membantu namun tidak bisa mengobati seutuhnya.

2.4 Preservasi Material Bambu

Selain melalui desain, peningkatan ketahanan bambu dapat dilakukan melalui tahapan proses pasca desain hingga teknis, mulai dari pemanenan bambu, penyimpanan, hingga pengawetan batang bambu. Proses ini merupakan proses yang penting karena akan sangat mempengaruhi umur pakai bambu.

2.4.1 Pemanenan Bambu

Agar bambu dapat digunakan secara maksimal berdasarkan sifat-sifat mekanisnya, maka perlu diperhatikan umur penebangan bambu yang tepat yaitu saat bambu berumur 3-6 tahun karena pada saat bambu berumur tersebut, mutu dan kekuatan bambu mencapai tingkat paling tinggi dan lebih tahan terhadap hama dan jamur jika melalui proses pengeringan dengan baik.

Pemanenan yang paling baik dilakukan adalah pada musim kemarau sebab pada saat kemarau hampir semua batang bambu dari satu rumpun dapat ditebang. Selain itu pada musim kemarau tersebut bambu memiliki kandungan kanji dan hama yang lebih rendah sehingga pada saat penggunaannya pun bambu tidak mudah membusuk. Pemotongannya pun harus dilakukan tepat pada bagian buku batang bambu yang jaraknya kurang lebih 15-30 cm dari permukaan tanah agar air tidak berkumpul pada tinggi ruas yang terbuka. Sedangkan bambu yang sudah terlalu tua biasanya tidak dipotong untuk menjaga kelesatariannya dalam bereproduksi.

Pada saat penanamannya, bambu-bambu yang ditanam tidak boleh terlalu padat karena akan menyebabkan penyerapan makanan dari dalam tanah tidak maksimal yang akan menyebabkan pengurangan kekuatan batang bambu. Maka dari itu pada musim tunas, tunas-tunas baru yang bermunculan perlu disingkirkan untuk mencegah kepadatan yang berlebihan. Hanya tunas-tunas yang berdiameter besar dan memiliki potensi menjadi batang bambu yang lurus dan kuat yang dibiarkan tumbuh.

Pemotongan bambu yang tepat dilakukan adalah saat subuh pada bulan tua (pada seperempat terakhir sebelum bulan gelap) karena batang bambu pada waktu-waktu tersebut memiliki kadar air paling rendah. Setelah melakukan pemotongan, bambu yang masih utuh dengan daunnya harus diletakkan dalam posisi tegak di tempat yang teduh tanpa menyentuh tanah. Hal ini dilakukan agar sisa kanji dalam batang bambu tetap mengalir ke daun sehingga pada bagian batang tidak lagi mengandung kanji yang merupakan makanan hama bambu. Pemotongan bambu yang dilakukan harus menggunakan parang.

Proses pengeringan bambu yang telah dipotong dapat dilakukan dengan cara diangin-anginkan (*air-drying process*) yang memakan waktu sekitar 6-12 minggu. Sedangkan jika pengeringan dengan cara pembakaran (*kiln-drying process*) hanya akan memakan waktu sekitar 2-3 minggu. Namun pada beberapa jenis bambu tidak dapat dilakukan pengeringan cepat karena akan menyebabkan retakan.

2.4.2 Penyimpanan Bambu

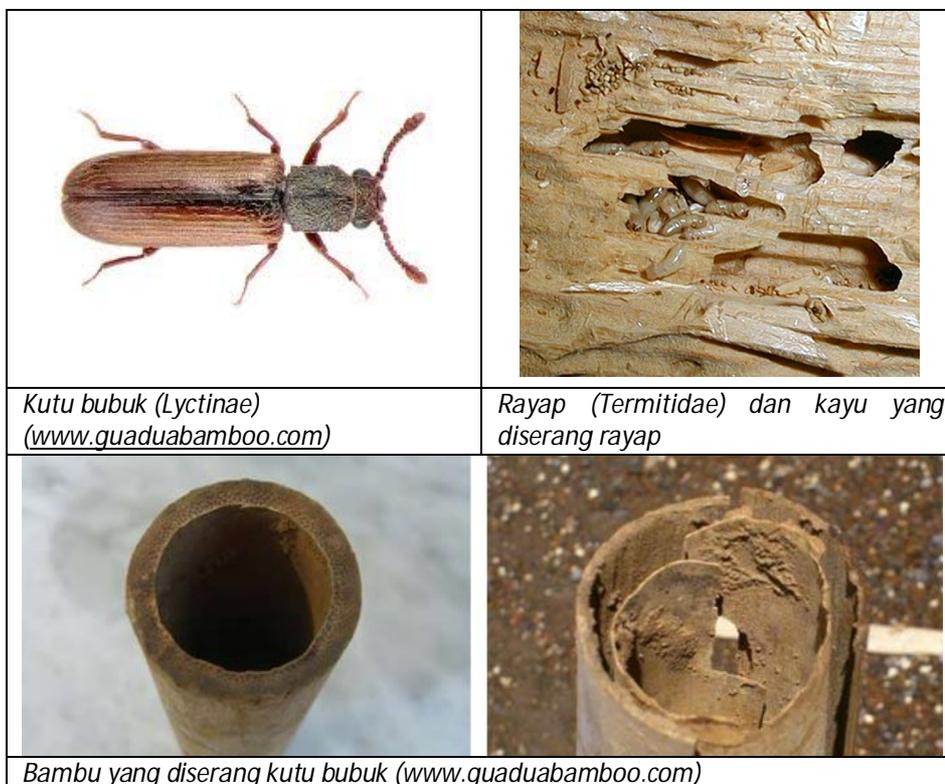
Penyimpanan bambu sebelum digunakan juga sangat penting. Bambu harus disimpan pada tempat yang kering dan terlindung dari sinar matahari langsung, hujan, dan tanah. Bambu harus disimpan dalam posisi horizontal agar tidak melengkung. Penyimpanan yang baik adalah dengan menempatkan bambu pada tidak kurang 50 cm di atas tanah. Hal ini memungkinkan adanya aliran udara yang baik. Jika terdapat bambu yang terkena hama ataupun jamur, harus dipisahkan untuk mendapatkan perawatan. Begitu pula dalam proses transportasi bambu. Iklim pada kontainer adalah iklim yang sangat nyaman bagi jamur dan hama, maka dari itu perlu adanya proses pengawetan terlebih dahulu.

2.4.3 Pengawetan Bambu

Pada dasarnya bambu yang sudah memiliki perlindungan khusus, kulit luar bambu memiliki kandungan silika yang tinggi bersifat kedap yang berfungsi seperti jas hujan yang menegah hama dan air masuk. Namun demikian, hama dan air tetap bisa masuk ke dalam batang bambu melalui pembuluh dalam bambu. Maka proses pengawetan bambu harus tetap dilakukan guna meningkatkan durabilitas bambu.

Hama yang menjadi musuh utama bambu adalah kutu bubuk (*powder-post beetle*, famili *Lyctinae*) & rayap (famili *Termitidae*). Kutu bubuk mengkonsumsi gula alami yang terkandung pada tanaman bambu, di mana pada bagian dinding batangnya terdapat konsentrasi kandungan gula & pati paling tinggi. Gangguan yang diakibatkan kutu bubuk adalah kerusakan pada bagian dinding bambu ini. Kerusakan terjadi ketika telur kutu (yang ditinggalkan induk kutu di dalam daging dinding batang bambu) menetas menjadi

larva. Larva yang tumbuh menjadi serangga dewasa akan memakan gula dan pati bambu. Makin tinggi kandungan pati dan gula, makin parah kerusakan yang akan terjadi. Secara fisik, kerusakan yang terjadi adalah hancurnya sel dan serat dinding bambu menjadi serbuk halus (tepung), menyisakan lapisan kulit luar saja.



Rayap hidup di tanah pada kondisi yang lembab. Rayap mengkonsumsi selulosa / serat yang terkandung dalam batang kayu dan bambu, dan akan mengkonsumsi kayu atau bambu yang bersentuhan langsung dengan tanah. Baik serangan kutu bubuk maupun rayap mengakibatkan pelemahan struktural batang bambu tersebut secara signifikan.

Secara umum, serangan rayap dapat diatasi melalui desain arsitektural. Prinsip umumnya adalah mengupayakan agar bahan bangunan yang terbuat dari bambu atau kayu tidak pernah bersentuhan langsung dengan tanah dan terlindung dari hujan untuk menghindari kelembaban.

Pengawetan bambu juga perlu diperhatikan karena tanpa melakukan langkah pengawetan, bambu yang digunakan sebagai bahan bangunan hanya mampu bertahan sekitar 2-3 tahun. Sebaliknya dengan teknik pengawetan yang baik dan benar serta perawatan yang baik konstruksi bambu bisa bertahan hingga lebih dari 15 tahun.

Ada 2 jenis metode pengawetan bambu pada masa pra konstruksi, yaitu metode kima dan non-kimia.

Metode Non-Kimia

Metode non-kimia dapat disebut sebagai metoda tradisional yang telah digunakan sejak lama oleh masyarakat pedesaan. Kelebihan metode non-kimia ini antara lain terletak pada kemudahannya, serta tidak membutuhkan biaya besar.

1) Pengasapan

Bambu diletakkan di atas rumah perapian (tungku) selama waktu tertentu sampai pengaruh asap menghitamkan batang bambu. Proses dengan menggunakan api ini juga dapat memperkeras permukaan bambu. Proses pemanasan menyebabkan terurainya senyawa pati dalam jaringan parenkim. Pengasapan bambu juga berguna untuk membasmi hama yang tersisa pada batang bambu. Di Jepang, bambu mentah disimpan dalam ruang pemanas pada suhu 120 - 150 °C selama 20 menit. Perlakuan ini cukup efektif untuk mencegah serangan serangga. Efek negatif metode ini adalah kemungkinan terjadinya retak yang dapat mengurangi kekuatan bambu. Pengasapan juga dapat dilakukan untuk meluruskan batang yang bengkok atau sebaliknya.

2) Pelaburan

Metode ini lebih ditujukan untuk mendapatkan efek hiasan ketimbang manfaat pengawetannya. Batang bambu untuk konstruksi perumahan dilaburi dengan kapur tohor ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$). Tujuannya untuk memperlambat penyerapan air, sehingga daya tahan bambu terhadap jamur menjadi lebih tinggi. Efektivitas metode ini masih perlu dibuktikan, terutama menyangkut pengaruh senyawa alkali terhadap kekuatan bambu.

Di daerah pedesaan, metode ini mengalami modifikasi. Bambu dilaburi dahulu dengan tar lalu diperciki dengan debu halus. Segera setelah debu melekat dan tar kering, dilakukan pelaburan dengan kapur tohor sampai 4 kali. Metode pelaburan lain yang biasa dilakukan rakyat adalah penurapan (pemlesteran) bambu dengan menggunakan campuran kotoran sapi dengan kapur atau adukan semen. Dewasa ini, bambu yang digunakan sebagai tiang pancang untuk bangunan terlebih dahulu dilumuri dengan tar lalu dililitkan dengan anyaman sabut kelapa.

3) Perendaman dalam air

Perendaman bambu dalam air adalah salah satu metode pengawetan tradisional yang sudah dikenal secara luas oleh masyarakat pedesaan. Perendaman menyebabkan penurunan kandungan pati bambu. Batang bambu yang direndam melarutkan kandungan kanji sehingga batang tidak lagi menarik untuk didatangi hama. Bambu mengandung pati relatif tinggi misalnya bambu ampel, sedangkan bambu apus kadar patinya relatif rendah. Tujuan akhir perendaman adalah menekan serangan kumbang bubuk. Metode ini lebih cocok diterapkan pada bambu yang digunakan untuk bahan bangunan. Waktu perendaman yang dianjurkan sebaiknya tidak lebih dari 1 bulan. Perendaman dapat dilakukan dalam air tawar, air payau, ataupun air laut yang tenang atau mengalir. Perendaman batang bambu sebaiknya dilakukan setelah bambu dikeringkan, baru kemudian direndam seluruhnya. Bambu yang telah direndam dalam air harus berwarna

pucat (tidak kuning, hijau ataupun hitam) dan berbau asam khas. Sedangkan bila bambu telah dibelah, pada bagian dalam bambu tidak boleh mengandung bulu bambu, seperti terdapat pada dalam bambu yang belum direndam.

4) Perebusan

Perebusan bambu pada suhu 55-60°C selama 10 menit akan menyebabkan pati mengalami gelatinisasi sempurna, yaitu menjadi amilosa yang larut dalam air (Matangaran, 1987). Perebusan pada 100°C selama 1 jam cukup efektif untuk mengurangi serangan kumbang bubuk. Metode ini - di samping metode pengasapan - pemanasan dan perebusan dengan air kapur - tidak populer karena kurang efektif.

Metode Kimia

Metode pengawetan secara kimia adalah metode peningkatan durabilitas penggunaan bahan kimia yaitu pengawet. Bahan pengawet yang terkenal adalah Copper-Chrome-Arsenic (CCA) ataupun Copper-Chrome-Boron (CCB). Penggunaan CCA seringkali dihindari karena disebut dapat merusak lingkungan. Penggunaan kimia seperti asam borat, boraks, dan boron sering digunakan karena murah dan efektif. Metode kimia relatif mahal tetapi menghasilkan perlindungan yang lebih baik. Keberhasilan metode ini sangat tergantung pada ketepatan konsentrasi larutan pengawet yang diberikan. Metode kimia biasanya lebih cocok digunakan dalam industri modern ataupun dalam skala proyek perumahan dan bangunan lainnya.

Tingkat keberhasilan pengawetan bambu dengan metode kimia tergantung dari beberapa faktor, yaitu:

- (1) kondisi fisik bambu sebelum diawetkan, bambu segar lebih mudah diberi perlakuan di banding bambu yang sudah kering.
- (2) berat jenis bambu, makin tinggi berat jenis bambu, makin sulit diawetkan karena ikatan pembuluhnya makin rapat dan kandungan serabutnya makin banyak.
- (3) umur bambu, makin tua umur bambu, kadar airnya makin turun sehingga bambu makin sulit diawetkan.
- (4) musim, metode kimia lebih baik diterapkan pada musim hujan.
- (5) jenis bahan pengawet, penetrasi pengawet akan lebih baik bila digunakan senyawa garam yang larut dalam air.
- (6) posisi dan ukuran bambu

1) Metode *Butt Treatment*

Metode ini dilakukan dengan meletakkan bagian bawah batang bambu yang baru dipotong di dalam tangki yang berisi larutan pengawet. Cabang dan daun pada bagian batang bambu dibiarkan tersisa. Melalui proses transpirasi yang dilakukan tanaman, cairan pengawet akan mengalir ke dalam pembuluh batang sampai ke daun. Setelah selesai, batang bambu dikeringkan hingga kadar airnya mencapai 10-15% sebelum digunakan sebagai material bahan bangunan. Namun kekurangan dari metode ini adalah memakan waktu yang relatif lama sehingga metode ini hanya cocok untuk batang bambu yang relatif lebih pendek dan memiliki kadar air tinggi.

2) Metode Perendaman/Tangki Terbuka

Metode ini merupakan metode kimia yang ekonomis, mudah dan sederhana serta dapat mengawetkan dengan baik. Batang dengan ukuran tertentu direndam selama 2-5 hari dalam larutan campuran air dan bahan pengawet. Pengawetan dengan perendaman ini dilakukan untuk bambu yang baru dipotong, bukan bambu yang sudah kering. Pengawetan bambu yang sudah dibelah (tidak utuh lagi) dapat mengurangi waktu pengawetan sampai 1,5 kali karena cairan pengawet dapat masuk ke dalam bambu dengan lebih cepat. Konsentrasi larutan pengawet harus disesuaikan dengan kondisi batang bambu. Lama perendaman juga tergantung pada jenis bahan pengawet yang digunakan, jenis bambu, dan kondisi batang bambu. Untuk mempercepat proses perendaman dapat dilakukan penggarukan kulit bagian luar batang bambu.

3) Metode Boucherie

Sistem Bouchene adalah salah satu metode pengawetan yang telah terbukti efektif untuk mengawetkan bambu yang segar tebang (Liese, 1980). Metode ini hanya cocok diterapkan untuk bambu segar (24 jam setelah panen). Cara ini menggunakan drum besi yang mengandung cairan bahan pengawet (harus rapat udara) dan dilengkapi dengan pompa udara. Lengan pompa udara yang satunya harus dijepit erat dengan bambu agar tekanan yang keluar tidak berkurang. Melalui pompa udara tersebut cairan pengawet dengan konsentrasi tertentu dipompa masuk ke dalam bambu dengan tekanan 0,8-1,5 kg/m². Proses pengaliran cairan pengawet terus dilakukan hingga seluruh panjang batang bambu dialiri cukup bahan pengawet. Untuk mengetahui proses ini telah selesai, cairan yang menetes dari ujung bawah bambu harus diperiksa. Jika konsentrasi cairan yang keluar dari ujung bawah bambu hampir mendekati/sama dengan konsentrasi cairan pengawet yang dialirkan, maka proses ini sudah dianggap selesai. Setelah proses boucherie ini, batang bambu harus ditaruh di tempat teduh sampai kering.

4) Metode Kimia Sederhana

Setelah proses penebangan bambu, batang bambu didirikan terbalik. Melalui ujung bambu bagian atas, dialirkan minyak solar menggunakan gaya gravitasi. Minyak solar akan mendorong keluar cairan yang terdapat dalam batang bambu. Metode ini memakan waktu selama satu minggu.

5) Metode Pengecatan/*Coating*

Metoda ini dilakukan dengan mengecatkan zat pengawet ataupun zat anti hama pada batang dan konstruksi bambu yang sudah dalam keadaan kering. Zat anti hama yang sering dipakai antara lain DDT, pernis, naptha, BHC, PCP, Dieldrin. Selain itu bambu yang sudah dalam keadaan kering harus dilindungi dari hujan dan embun. Bambu dapat juga dilapis dengan bubuk kapur (kalsium hidroksida, Ca(OH)₂). Selain itu pelapisan bambu juga dapat dilakukan dengan ragoon oil atau boraks.

Untuk memberikan ketahanan terhadap api, dapat dilakukan pengecatan dengan cat khusus tahan api dan perendaman dengan cairan boraks 2,5% yang dilarutkan dalam air.

Namun pengawetan tahan api ini dapat hilang jika terendam air atau terkena hujan.

2.4.4 Proses perawatan bambu

Perawatan bambu pada proses pasca-konstruksi dilakukan untuk menjaga daya tahan bambu sehingga tidak mudah lapuk. Walaupun telah melakukan pengawetan, perawatan bambu juga merupakan hal yang penting untuk menjaga keawetan bambu. Hal yang termudah adalah dengan menjaga bambu agar tidak basah karena keadaan yang basah akan melapukkan bambu dan menimbulkan jamur sehingga ketahanannya akan berkurang. Perawatan pasca-konstruksi bambu dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu perawatan dengan cara tradisional dan perawatan dengan cara kimiawi. Perawatan tradisional lebih dianjurkan karena lebih murah dan aman.

Perawatan tradisional bambu:

- Bambu dapat dirawat dengan cara tradisional yaitu dengan menggunakan ampas kelapa, oli bekas dan minyak jelantah untuk memberikan sifat tahan air. Bahan-bahan tersebut dapat dioleskan kepada bambu secara berkala.
- Mencuci bambu dengan air lemon untuk melindungi dari serangan jamur (jamur tidak tumbuh pada tempat yang asam).

Perawatan lainnya dapat dilakukan dengan cara kimiawi yaitu dengan cara mengoleskan atau menyemprot zat kimia anti rayap/organisme perusak lainnya atau dengan melapisi bambu dengan zat kimia yang bersifat tahan air (*waterproof*). Pengecatan bambu juga dapat dilakukan untuk meningkatkan durabilitas bambu.

Dapat juga dilakukan pengecatan berkala dengan cat khusus tahan api karena zat pengawet ini dapat hilang jika terkena air hujan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

3.1.1 Berdasarkan Tujuan : Penelitian Terapan

Berdasarkan tujuannya, Penelitian ini merupakan penelitian terapan yang sering juga disebut sebagai *Applied Research* atau *Practical Research*, yaitu penelitian yang dilakukan dengan hati-hati, sistematis dan terus-menerus terhadap suatu masalah dengan tujuan untuk digunakan dengan segera bagi keperluan tertentu.

3.1.2 Berdasarkan Metode

Berdasarkan metode penelitiannya, penelitian ini melakukan 2 (dua) metode penelitian, yaitu: *Field Research* dan *Experimental Research*.

3.2 Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 objek penelitian, yaitu:

1. Bamboo Koenig Restaurant, Bali
2. OBI Campus, Jatiluhur
3. Bamboo Musholla, sebagai elemen struktur utama



Gambar 3.1 Objek Penelitian:
Bamboo Koenig Restaurant di Bali, OBI Campus di Jatiluhur,
Musholla Bambu di Cibodas

sumber : www.bali-home-immoo.com, www.outwardboundindo.org, dokumentasi peneliti

3.3 Kerangka Pemikiran

Untuk mengkaji upaya peningkatan durabilitas bambu sebagai komponen konstruksi, dalam penelitian ini akan dibagi menjadi 2 bagian :

1. Bagian 1 adalah mengkaji objek penelitian terkait upaya preservasi melalui rancangan, preservasi material dan perawatan
2. Bagian 2 adalah pengujian preservasi material.



3.4 Teknik Pengumpulan Data

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

3.4.1 Data Lapangan

Data lapangan yang dimaksud disini adalah data-data yang berhubungan dengan objek penelitian. Data-data ini yang akan dipakai untuk mengkaji upaya peningkatan durabilitas pada objek penelitian. Data-data yang diperlukan adalah:

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

3.4.2 Data Uji

Data uji didapat dari hasil pengujian teknik pengawetan. Pemilihan teknik pengawetan dipilih berdasarkan studi literatur dengan kriteria:

- ramah lingkungan,
- alat dan material sederhana dan ekonomis.
- Waktu pengawetan seoptimal mungkin
- Bahan dan metode yang digunakan dicari yang paling mudah dan ekonomis dengan tujuan dapat diterapkan oleh masyarakat.

Beberapa benda uji akan diadakan untuk diuji terhadap perlakuan sebagai berikut:

No.	Perlakuan	Waktu Perlakuan
1	Tanpa Pengawetan	-
2	Direndam air biasa	3 hari
3	Direndam air biasa	7 hari
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit
6	direndam larutan borax	3 hari
7	direndam larutan borax	7 hari
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit

Adapun aspek yang diuji adalah:

- Ketahanan terhadap cuaca / *weathering* (hujan & panas)
- Ketahanan terhadap serangga (kutu bubuk)
- Perubahan properti material (warna, tekstur, kepadatan)

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang dipakai pada penelitian ini adalah analisis deskriptif – kualitatif (pada penelitian bagian 1) dan analisis komparatif – kualitatif (pada penelitian bagian 2)

3.6 Tahapan Penelitian

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

3.6.1. Tahap pertama melakukan studi literatur terdiri dari :

- 1) Menyusun pengetahuan mengenai posisi riset yang akan dilakukan
- 2) Merumuskan permasalahan
- 3) Menyusun statement of the art
- 4) Menyusun pengetahuan mengenai upaya peningkatan durabilitas material bambu

3.6.2. Tahap kedua adalah *field research*

- 1) Mengumpulkan data melalui observasi lapangan dan wawancara dengan stakeholder terkait.
- 2) Menganalisis deskriptif- kualitatif, untuk mendeskripsikan setiap variabel.

3.6.3. Tahap ketiga adalah *experimental research*

- 1) Pembuatan model uji
- 2) Pengujian laboratorium
- 3) Analisis komparatif-kuantitatif

3.6.4. Tahap keempat menarik kesimpulan.

- 1) Penarikan kesimpulan

3.6.5. Tahap kelima finalisasi laporan penelitian.

BAB 4 JADWAL PELAKSANAAN

Jadwal pelaksanaan terbagi dua:

Field research, dilaksanakan pada bulan 02 – 07, dilakukan melalui pengamatan, wawancara dan analisis kualitatif di lokasi di Bamboo Koenig Restaurant (Bali), OBI Campus, Jatiluhur, Bamboo Musholla.

Experimental research, dilaksanakan bulan 08 – 11, dilakukan di laboratorium struktur.

Jadwal pelaksanaan mengalami penundaan dari bulan 05 – 08 karena benturan jadwal dengan sejumlah kegiatan pengabdian dan penelitian lainnya.

4.1. Jadwal Penelitian

Tahapan Penelitian	Bulan										
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
Tahap Pertama :											
- Penyusunan proposal	■										
- Seminar proposal penelitian	■										
- Studi Literatur	■	■	■								
Tahap Kedua :											
- Observasi & Wawancara				■	■						
- Analisis					■	■					
Tahap Ketiga :											
- Pembuatan sampel uji				■	■		■	■			
- Pengujian					■	■		■	■		
- Analisis						■	■		■	■	
Tahap Keempat :											
- Penarikan kesimpulan							■	■		■	
- Seminar Hasil Penelitian							■			■	
Tahap Kelima :											
- Finalisasi laporan								■	■	■	

■ Jadwal yang direncanakan

■ waktu pelaksanaan

4.2. Kontribusi penelitian

1. Meningkatkan wawasan bagi dunia akademik mengenai preservasi bambu melalui rancangan dan pengawetan.
2. Memberikan masukan praktisi mengenai upaya peningkatan durabilitas bangunan bambu dan pengaruhnya pada karakter fisik bambu sebagai bahan bangunan alternatif.

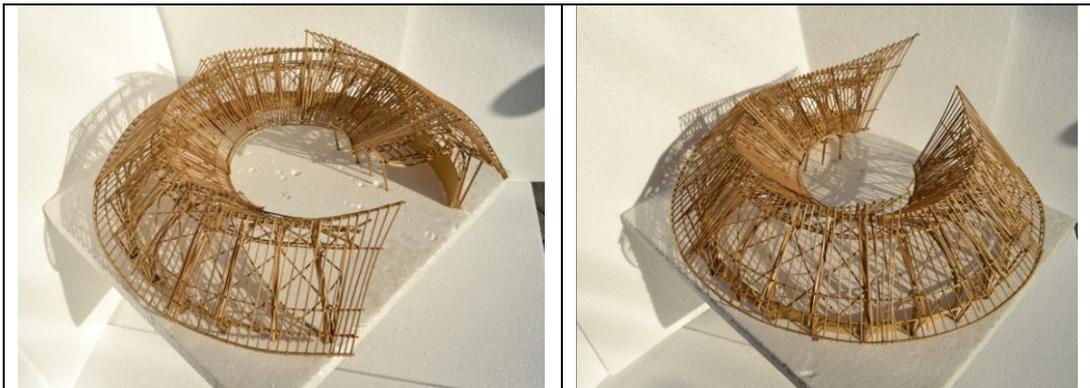
BAB 5 PELAKSANAAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Observasi Variabel Perancangan Pada Objek Studi

5.1.1. Pencegahan Kontak Langsung dengan Air

1) Bamboo Koenig, Bali

Teritis atap yang lebar merupakan suatu persyaratan yang harus dipenuhi pada struktur bambu. Objek studi memiliki teritis sekitar ± 2 meter. Teritis yang lebar ditopang dengan adanya konsol yang terbuat dari struktur bambu. Namun karena bangunan yang cenderung tinggi, jika diambil sudut air hujan maksimal (60°) maka teritis atap bagian luar bangunan kurang memenuhi persyaratan sehingga air tampias air hujan masih mengenai struktur bambu. Upaya yang dilakukan pada objek studi adalah dengan memberikan vegetasi di sisi luar bangunan sehingga mampu menahan tampias air hujan.



Bentuk massa bangunan Bamboo Koenig Restaurant berupa massa sirkular dengan ruang terbuka di bagian tengah



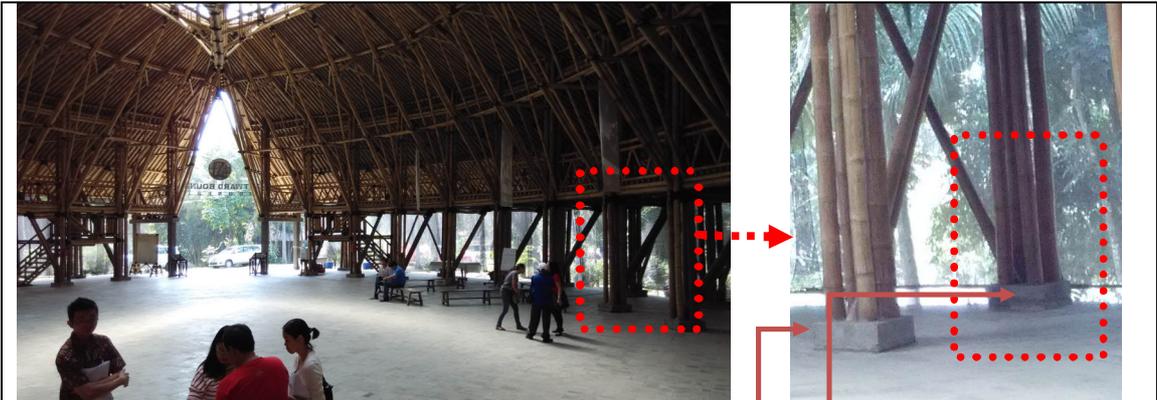
Dimensi teritis ke arah horisontal memenuhi kriteria lebar, tetapi karena tepian teritis ada pada ketinggian 3-4m, efektivitas optimal belum tercapai, karena bagian kaki kolom masih terkena tampias air hujan, terlebih bila hujan lebat atau disertai angin.

	<p>Penambah vegetasi dan <i>gutter</i> / drainase pada kaki bangunan didapati agak efektif untuk mengurangi exposure terhadap air hujan atau kelembaban dari tanah.</p>	
	<p>Walaupun demikian, pemetaan titik kaki bangunan yang terekspos air atau kelembaban tanah menunjukkan porsi cukup besar, lebih dari 50% titik kaki lingkaran luar bangunan dinilai terkena air atau kelembaban.</p>	

2) Great Hall, OBI Campus, Jatiluhur

Objek studi *Great Hall OBI Campus* ini memiliki teritis dengan lebar sekitar ± 2 meter. Teritis ini juga ditopang konstruksi konsol bambu. Namun, sama halnya dengan bangunan *Bamboo Koenig*, teritis berada pada posisi cenderung sangat tinggi terhadap lantai teras di mana terdapat kaki bangunan. Jika diambil sudut air hujan maksimal (60°) maka teritis atap bagian luar bangunan kurang memenuhi persyaratan karena tampias air hujan langsung mengenai struktur bambu. Upaya yang dilakukan pada objek studi adalah dengan memberikan selubung berupa *para-net* (material jaring peneduh semaian) di sisi luar bangunan untuk mampu menahan tampias air hujan.





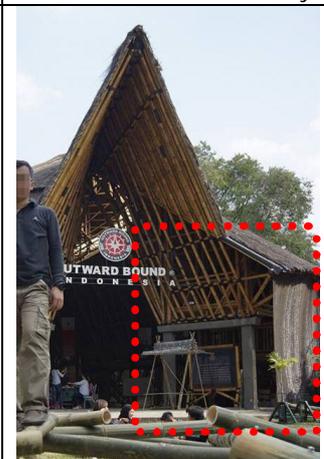
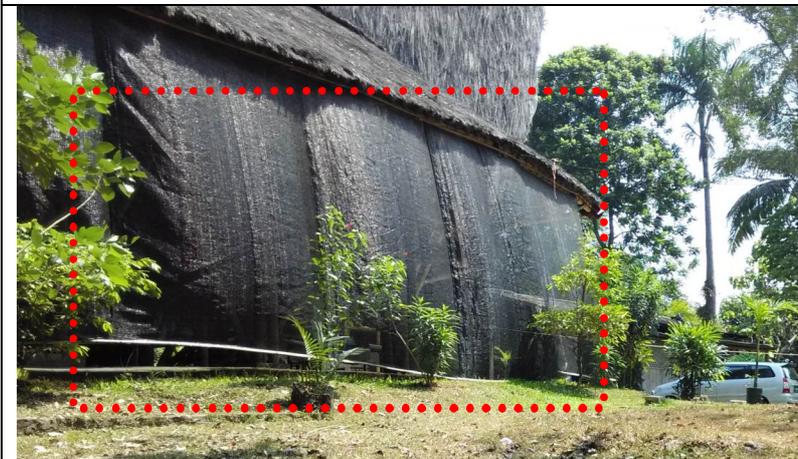
Desain tipikal kaki bangunan, berupa pedestal setinggi 30cm yang menjadi pertemuan batang bambu dengan dasar bangunan

Kaki bangunan bagian luar langsung terkena curahan air hujan dan cucuran tampias dari teritis yang tidak menggunakan talang.

Penggunaan paranet sebagai kulit terluar bangunan didapati kurang efektif. Pada saat hujan sedang, kecepatan air hujan dan sudut jatuhnya banyak berkurang karena jaring tersebut. Tetapi bila hujan lebat atau disertai angin, helai-helai paranet malah mengakibatkan butir air yang terpecah menjadi butir air lebih kecil dan menyebabkan area sebaran meluas sampai ke kaki bangunan. Ini menyebabkan kaki bangunan tetap terkena air

Pada bagian muka, desain atap di atas akses utama mengakibatkan teras depan sangat terekspos hujan.

Upaya untuk menghindarkan bambu dari air dilakukan dengan penggunaan kolom beton setinggi 3m sebagai pedestal struktur bambu di atasnya



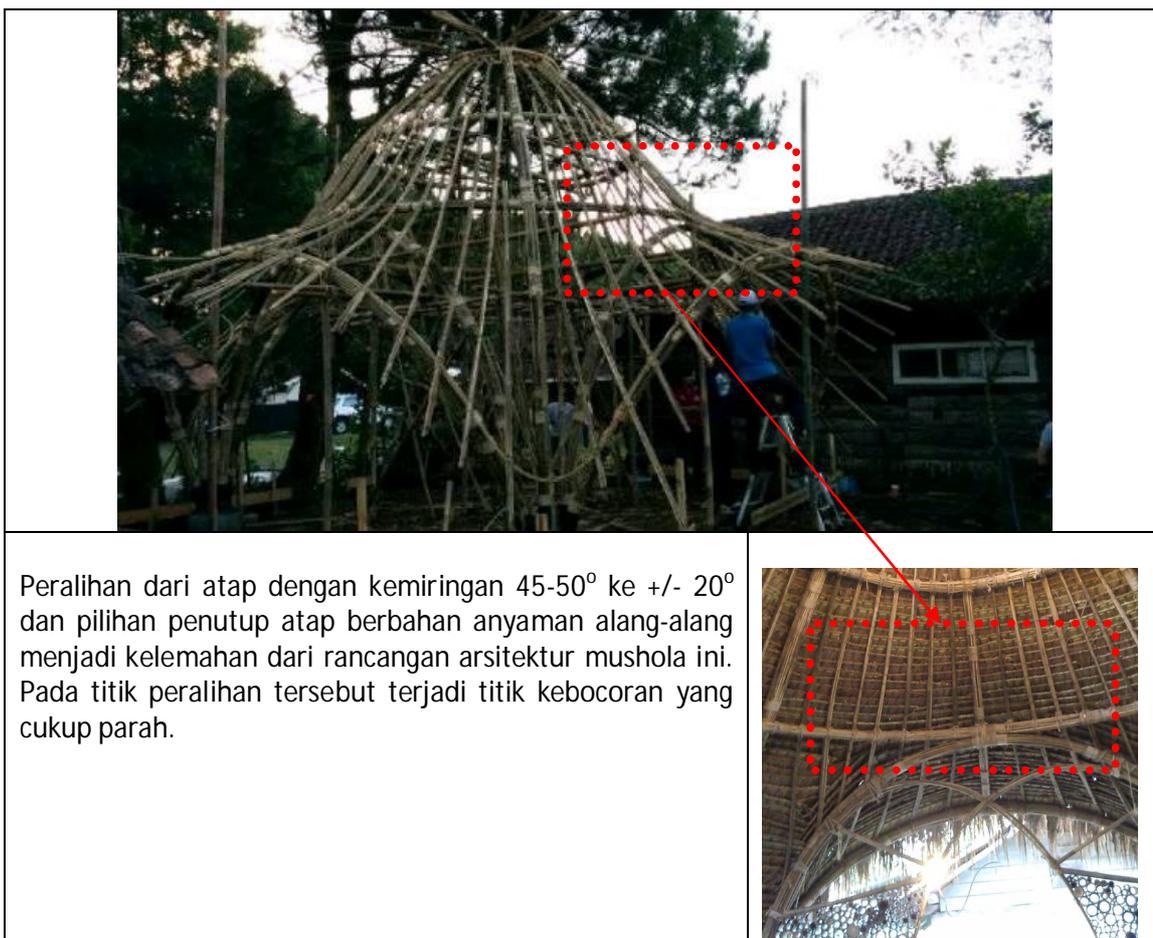
Dari observasi di lokasi objek studi, didapati bahwa hampir semua titik kaki bangunan terkena cipratan air hujan ketika terjadi hujan lebat dan disertai angin. Tapak OBI Campus berada di tepian bendungan Jatiluhur dengan potensi frekuensi dan volume hujan yang cukup tinggi. Hal ini berarti bahwa frekuensi exposure kaki bangunan terhadap air dan kelembaban, dengan desain bentuk seperti demikian, juga berbanding lurus dengan frekuensi dan volume hujan tersebut.

3) Mushola Bambu, Cibodas

Rancangan bangunan mushola di Desa Cibodas, Maribaya, ini cukup sederhana. Massa tunggalnya berbentuk bujursangkar pada denah, yang berangsur-angsur beralih menjadi lingkaran pada bagian atap. Secara keseluruhan, bentuknya mendekati bentuk kubah, dengan tambahan 'atap teras' di keempat sisinya. Masing-masing atap teras terbangun dari dua buah busur. Semua elemen berbahan bambu dibuat dengan menggunakan konstruksi bambu bilah ikat.

Tinggi bangunan total sampai puncak adalah delapan meter. Tinggi puncak atap teras adalah 3,5m. Titik atap terendah di keempat sudut adalah 60-70cm dari tanah.





Peralihan dari atap dengan kemiringan 45-50° ke +/- 20° dan pilihan penutup atap berbahan anyaman alang-alang menjadi kelemahan dari rancangan arsitektur mushola ini. Pada titik peralihan tersebut terjadi titik kebocoran yang cukup parah.

Kelemahan desain terjadi pada pertemuan atap utama dengan atap teras. Peralihan dari atap dengan kemiringan 45-50° ke +/- 20° dan pilihan penutup atap berbahan anyaman alang-alang didapati menjadi titik rembesan air hujan. Hal ini terjadi karena terjadi perlambatan laju aliran air hujan di dalam tumpukan anyaman alang-alang akibat kemiringan atap yang tiba-tiba melandai. Akibatnya air merembes secara vertikal ke bawah dan menembus lapisan alang-alang, menyebabkan bocor dan genangan di dalam ruangan sholat.

Struktur bambu bilah di sekitar area rembesan air juga mengalami kontak dengan air hujan, sehingga bagian tersebut menjadi basah dan lembab. Hal ini tentu saja akan berangsur-angsur melemahkan elemen bambu bilah yang tersusun dari rangkaian bilah-bilah bambu yang diikat, karena kelembaban akan lebih lama tertahan dalam rangkaian bilah-bilah yang cukup rapat tersebut. Akumulasi kelembaban akan memudahkan jamur dan organisme perusak lain tumbuh.

5.1.2. Pencegahan Kontak Langsung dengan Tanah

1) Bamboo Koenig, Bali

Untuk mencegah bahaya air yang bersentuhan dengan batang bambu, bangunan dengan struktur bambu ini diberikan teras dengan tinggi sekitar 50 cm guna mencegah struktur bambu terkena kelembaban tanah dan genangan akibat aliran

air hujan. Walaupun terdapat teras yang memisahkan batang bambu terhadap tanah, perlu diperhatikan hubungan antara batang bambu dengan permukaan lantai.



Batang bambu sebaiknya tidak berhubungan langsung dengan permukaan lantai karena sewaktu-waktu lantai dapat terjadi genangan air yang menyebabkan terendamnya batang bambu, misalnya saat terjadi pembersihan permukaan lantai. Dengan begitu, akan lebih baik jika batang bambu dinaikan dari permukaan lantai untuk menghindari bambu dari kondisi lantai yang basah. Pada objek studi, sebagian kaki bangunan memiliki umpak beton yang dinaikan dari permukaan tanah agar tidak bersentuhan langsung dengan tanah.



Pedestal atau umpak adalah upaya mencegah kebusukan dan serangan jamur akibat meningkatnya kelembaban pada batang bambu bila bersentuhan langsung dengan tanah yang lembab. Pondasi yang dinaikan dari permukaan tanah ini juga mencegah terendamnya bambu oleh genangan air hujan.

2) OBI Campus, Jatiluhur

Seperti halnya Bamboo Koenig Restaurant, OBI Campus Great Hall juga menggunakan peninggian alas bangunan. Selain untuk memperoleh permukaan ruang dalam yang rata, penimbunan bidang tanah ini juga merupakan upaya menghindarkan material bambu dari kelembaban tanah. OBI Campus meninggikan permukaan alas bangunannya setinggi 30 – 50 cm.

Selain penimbunan, pada setiap titik kaki bangunan pedestal juga digunakan untuk melindungi bagian bawah batang bambu dari kelembaban di lantai sebagai antisipasi terjadinya genangan bila hujan atau bila sedang dilakukan pembersihan / pengepelan lantai.



Secara keseluruhan, bangunan Great Hall di OBI Campus ini sudah mengupayakan pemisahan bahan bambu dari tanah lembab dengan cukup baik. Penggunaan pedestal dan peninggian alas bangunan dinilai cukup efektif untuk menghindarkan sentuhan langsung bambu dengan tanah lembab atau permukaan lantai yang lembab karena pembersihan atau pemakaian normal.

3) Mushola Bambu, Cibodas

Bangunan mushola ini juga menggunakan peninggian alas bangunan. Alas bangunan ditinggikan sebesar 30-40cm dengan pengurugan dan pengecoran lantai kerja beton rabat setebal 7-10 cm.



Peninggian alas dan penggunaan pedestal setinggi 50cm mampu menghindarkan elemen bambu bilah dari sentuhan langsung dengan tanah lembab

Secara keseluruhan, bangunan mushola Cibodas ini sudah mengupayakan pemisahan bahan bambu dari tanah lembab dengan cukup baik. Penggunaan pedestal dan peninggian alas bangunan dinilai cukup efektif untuk menghindarkan sentuhan langsung bambu dengan tanah lembab atau permukaan lantai yang lembab karena pembersihan atau pemakaian normal.

5.1.3. Aliran udara yang baik

1) Bamboo Koenig, Bali

Salah satu yang perlu diperhatikan dalam perancangan struktur bambu adalah pengadaan penghawaan alami yang baik. Desain bangunan pada objek studi dibuat terbuka sehingga dapat menghadirkan penghawaan alami yang sangat baik untuk mengurangi kelembaban pada struktur bambu. Maka, sekalipun terkena percikan air hujan, struktur bambu yang basah dapat segera kering karena terkena udara luar. Tapak terletak pada kawasan yang dikelilingi sawah sehingga angin tidak terhalang oleh bangunan sekitar tapak.



Suasana Terbuka Bamboe Koenig Restaurant

2) OBI Campus, Jatiluhur



Penghawaan alami yang baik juga dicapai pada bangunan OBI Campus melalui desain bangunan yang terbuka

Penghawaan alami yang sangat baik terjadi juga karena tapak terletak di area tepian waduk yang memungkinkan aliran udara kawasan yang baik. Maka, sekalipun terkena percikan air hujan, struktur bambu yang basah dapat segera kering karena terkena udara luar.

3) Mushola Bambu, Cibodas

Rancangan arsitektur bangunan mushola di Cibodas menghasilkan bukaan-bukaan besar di keempat sisinya. Bukaan ini terjadi dari bentuk busur yang mencapai 3.5m pada titik tertingginya. Akibatnya, walaupun pada bagian sudut bangunan atap alang-alang terlihat merunduk cukup rendah, aliran udara tidak terganggu.

Bukaan juga terdapat pada puncak kubah atap. Selain memasukkan cahaya alami, bukaan ini juga memungkinkan udara panas terlepas ke luar bangunan mengikuti prinsip konveksi udara (*stack effect*). Secara teknis lubang ini ditutup oleh bahan *fiberglass* transparan, agar cahaya matahari tetap masuk tetapi air hujan tidak. Stack effect ini memungkinkan terjadinya aliran udara dari dalam ke luar karena berkurangnya tekanan udara di puncak atap. Aliran ini yang memungkinkan kelembaban terurai dari dalam bangunan.



Mushola Cibodas memiliki bukaan lebar di keempat sisinya, walaupun desain atapnya merunduk cukup rendah di keempat sudut bangunan.

Penghawaan menjadi lebih lancar dengan bukaan pada bagian puncak atap, memungkinkan udara panas terlepas ke luar.

5.1.4. Penggunaan Bambu dalam Desain

1) Bamboo Koenig, Bali

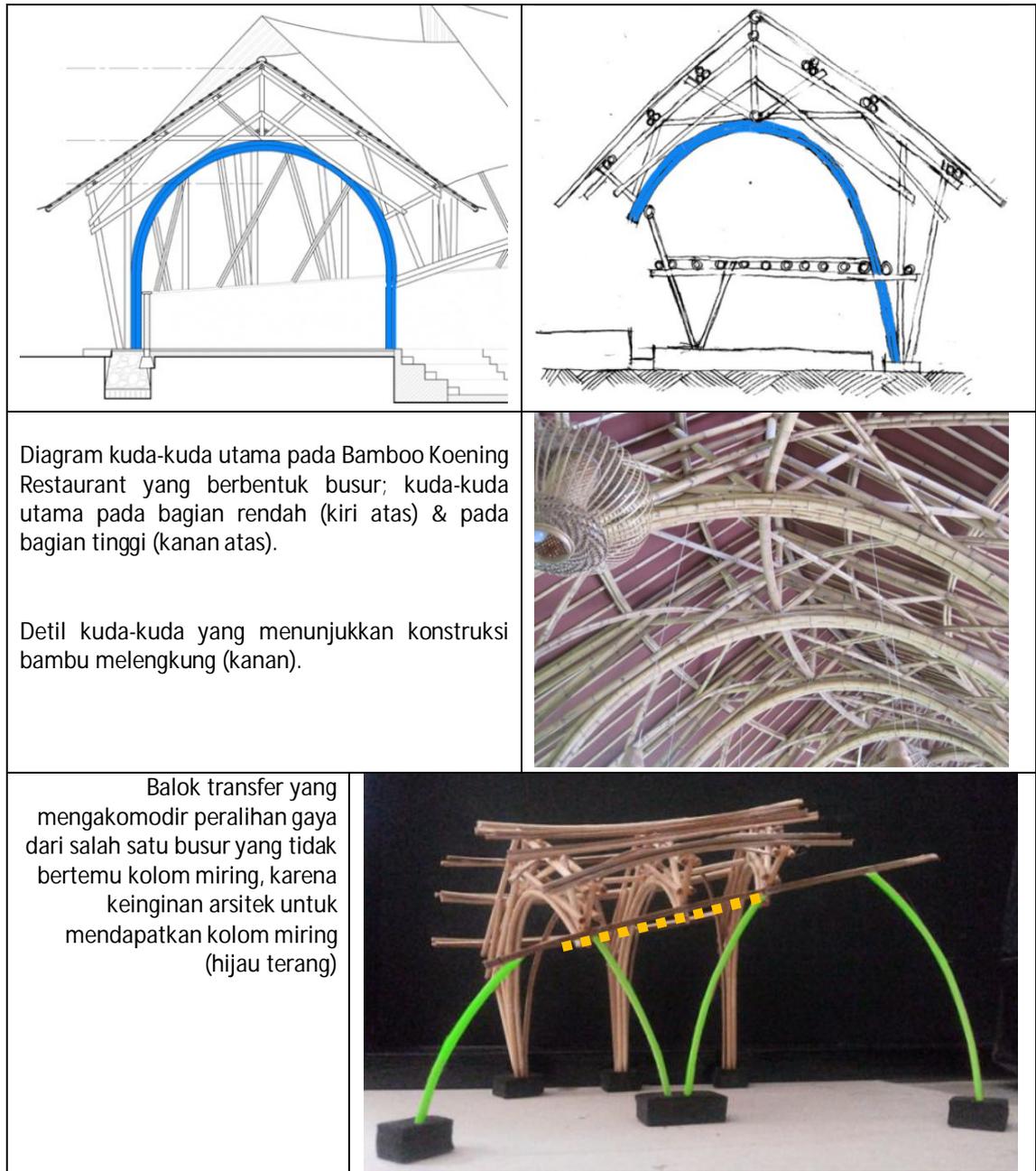
a) Perlakuan bahan

Konstruksi bambu pada bangunan restoran ini terdiri dari gabungan bambu utuh, bambu bilah, dan bambu utuh yang dimodifikasi. Bambu utuh berupa batangan digunakan pada konstruksi atap mulai dari gording, kasau, sekur, dan elemen lain yang relatif lurus. Bambu bilah digunakan pada sejumlah titik sebagai balok transfer untuk menyalurkan beban gravitasional dari rangka atap ke kolom dan busur. Sedangkan bambu utuh yang dimodifikasi digunakan pada busur yang membentuk kuda-kuda utama. Modifikasi dilakukan dengan menyambungkan sejumlah batang bambu pendek yang dilengkungkan, agar tercapai diameter kelengkungan yang diinginkan arsitek.

Dari pengamatan dan analisis terhadap penyaluran gaya dan konstruksi bambu di bangunan ini, tim peneliti menemukan adanya konstruksi yang dipaksakan untuk mencapai bentuk rancangan arsitek. Paksaan yang dimaksud adalah:

- perletakkan titik peralihan beban dari sejumlah kuda-kuda ke elemen vertikal yang tidak tepat, karena ingin mendapatkan bentuk kolom yang

miring, sehingga balok transfer harus digunakan untuk mengakomodasi peralihan gaya gravitasional ke kolom



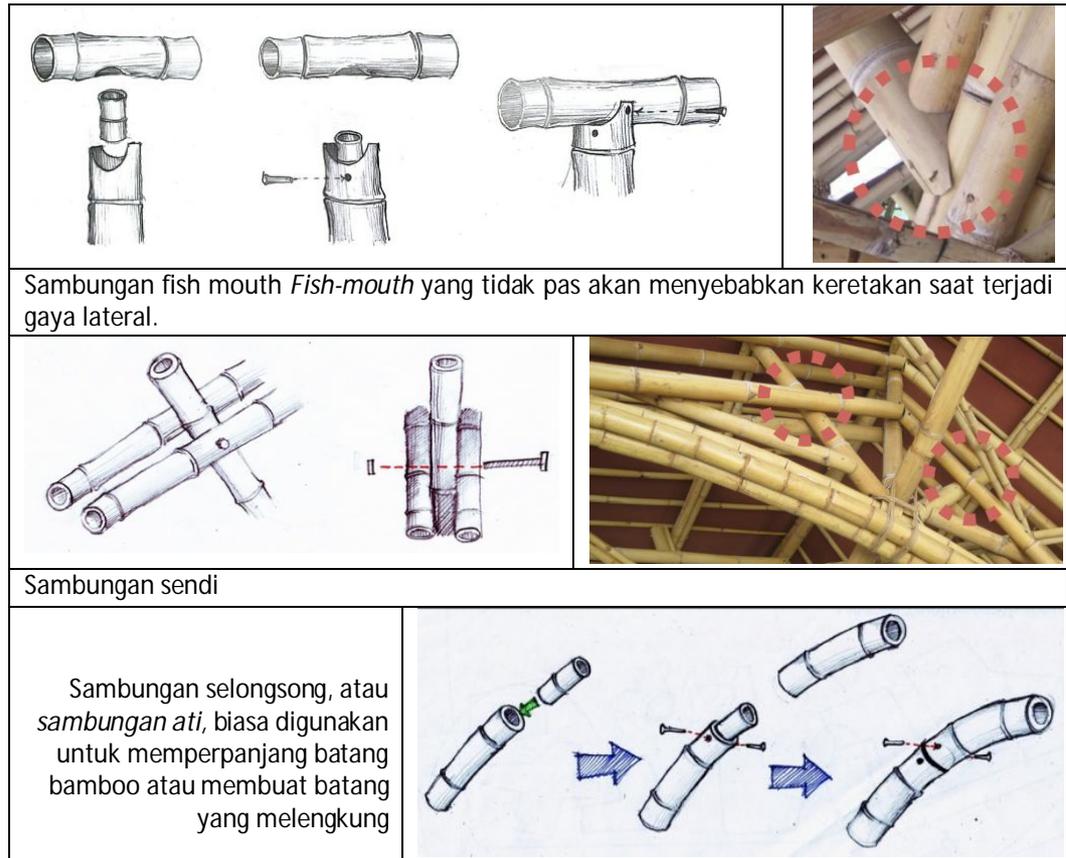
- penggunaan sistem konstruksi yang kurang tepat untuk elemen struktural penting, dalam hal ini adalah penggunaan bambu bilah sebagai balok transfer yang menyalurkan beban dari salah sejumlah busur ke kolom

b) Desain sambungan & alat sambung

Salah satu teknik sambungan antar batang bambu pada objek studi menggunakan sambungan jenis *fish-mouth*. Sambungan *fish-mouth* dinilai baik karena memiliki karakter muka-sambung melengkung yang dibuat manual untuk

menjamin ketepatan bidang pertemuan dengan permukaan luar dinding bambu. *Fish-mouth* yang tidak pas akan menyebabkan keretakan saat terjadi gaya lateral. Antar batang bambu disisipkan batang bambu dengan ukuran yang lebih kecil yang disambungkan dengan cara dipasak.

Selain sambungan *fish-mouth*, jenis sambungan lain yang digunakan adalah sambungan yang bersifat sendi. Salah satu penerapan sambungan sendi terletak pada sambungan pada kaki kuda-kuda, sekur, dll.

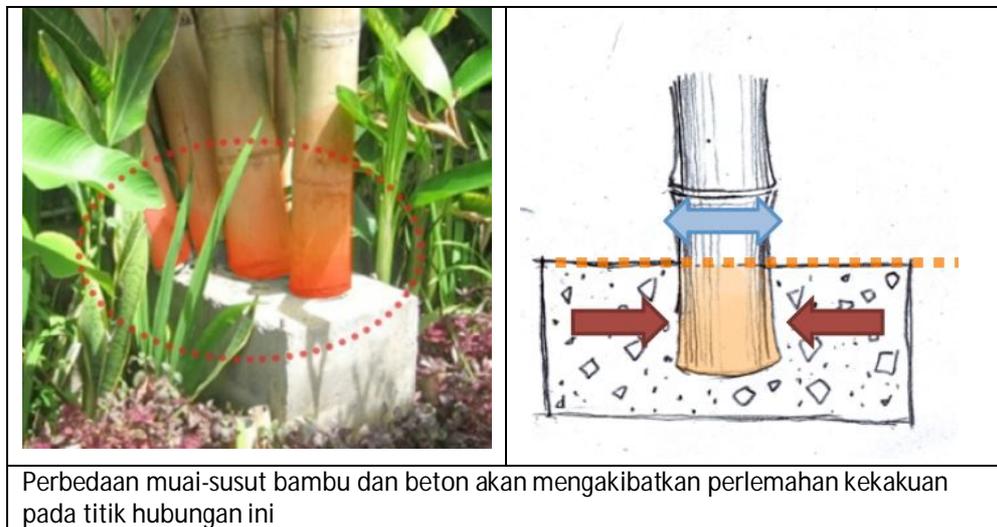


Jenis sambungan lain yang digunakan pada objek studi adalah sambungan untuk memanjangkan batang bambu yang lebih dikenal di lapangan dengan *sambungan ati* yang digunakan pada sambungan busur. Pada dasarnya, bambu memang memiliki karakteristik melengkung dan dapat dilengkungkan, dengan batas kelengkungan maksimal tertentu sehingga jika dipaksakan akan berakibat pada keretakan batang bambu yang akan menyebabkan kerusakan struktur.

Dalam perancangan objek studi, terdapat beberapa sambungan yang dihindari oleh sang arsitek untuk mempertahankan durabilitas bambu. Sambungan yang dihindarkan antara lain adalah sambungan dengan ujung bambu berbentuk segitiga dan kotak ataupun sambungan yang melubangi bambu karena dianggap dapat menyebabkan keretakan pada batang bambu.

Di samping itu penggunaan sambungan pada objek studi diupayakan untuk tidak memotong ruas bambu karena dianggap akan mengurangi kekuatan bambu (kekuatan bambu pada ruasnya). Sambungan pada struktur bambu pada objek studi letaknya diupayakan tidak jauh dari ruasnya (paling besar 12 cm) agar tidak mengalami keretakan pada struktur bambu.

Konstruksi bambu dan pondasi pedestal beton dihubungkan oleh sambungan yang bersifat jepit dengan melakukan pengecoran batang bambu secara langsung. Hal ini kurang baik karena kandungan air yang terdapat pada pondasi beton dapat menyebabkan peningkatan kelembaban pada batang bambu. Hal ini juga dapat menimbulkan masalah akibat perbedaan kekakuan saat terjadi muai susut. Cara ini juga menyulitkan kemungkinan pergantian batang bambu yang rusak, meskipun struktur yang direncanakan sudah menerapkan faktor *redundancy*.



Sambungan struktur bambu pada objek studi diperkuat dengan penggunaan pasak serta mur-baut. Menurut arsiteknya, alat bantu sambungan terbaik adalah dengan mur-baut, pasak, klem metal dan ikatan. Penggunaan ikatan disarankan menggunakan tali ijuk karena semakin tua, kekuatan tali ijuk akan semakin meningkat dan tidak mudah lepas. Penggunaan paku dan sekrup dihindarkan, terutama untuk sambungan elemen struktural karena dapat menyebabkan pecah pada batang bambu.

2) OBI Campus, Jatiluhur

a) Perlakuan bahan

Konstruksi bambu pada bangunan Great Hall ini hampir sepenuhnya menggunakan bambu utuh. Bambu utuh berupa batangan digunakan pada elemen struktur utama dan konstruksi mulai dari kolom utama, balok lantai, gording, kasau, sekur, dan elemen lain yang relatif lurus. Pada bagian *skylight* atap utama, konstruksi rangka batang-ruang pun menggunakan bambu utuh yang dirangkai ke

dalam bentuk lengkungan bersegmen, sehingga secara umum berkesan melengkung. Hal ini dapat dicapai karena dimensi konstruksi yang besar (+/- 10x20m pada bagian *skylight*).

Dari pengamatan dan analisis terhadap penyaluran gaya dan konstruksi bambu di bangunan ini, tim peneliti menemukan bahwa arsitek sangat mengupayakan penyaluran gaya gravitasional dan beban lainnya ke dalam bentuk gaya aksial yang bekerja pada tiap batang bambu. Sejumlah batang tarik/tekan diterapkan pada rancangan dalam bentuk *cross-bracing* sebagai penahan gaya lateral dan pengkaku.



Desain skylight berupa konstruksi rangka batang-ruang yang membentuk *segmented curve*



Penyaluran beban sedapat mungkin dilakukan agar beban dapat bekerja sebagai gaya aksial pada tiap batang bambu.

b) Desain sambungan & alat sambung

Berdasarkan buku rujukan, ada sejumlah tipe sambungan yang dapat dikenali pada bangunan OBI Campus Great Hall ini. Pertama adalah tipe sambungan *fish mouth*, seperti yang didapati juga pada Bamboo Koenig. Kedua adalah *tipe flute tip* yang merupakan varian dari fish mouth untuk pertemuan bersudut tidak tegak lurus. Ketiga adalah tipe sambungan *muneco* yang menghubungkan batang bambu menerus secara tegak lurus. Ciri khas *muneco* adalah pemakaian sisipan balok kayu bulat ke dalam rongga batang bambu pada bagian sambungan, sebagai penguat untuk menghindari pecahnya batang bambu.

	<p><i>Fish mouth</i>, dan variannya <i>flute-tip</i> dalam penerapan yang kurang tepat, karena menggunakan paku</p>
	<p><i>Muneco</i>, sambungan untuk pertemuan elemen yang saling tegak lurus, dengan perkuatan berupa sisipan (infill) balok kayu ke dalam batang bambu horisontal</p>
	

Selain ketiga tipe sambungan tersebut, sambungan ati / selongsong juga diterapkan pada bagian elemen struktural yang memerlukan elemen garis menerus, seperti pada konstruksi rangka batang-ruang di bagian *skylight*.

Perkuatan sambungan umumnya menggunakan mur-baut yang dilengkapi dengan ikatan tali ijuk. Dari pengamatan dan wawancara, tali ijuk digunakan sebagai perkuatan mur-baut, selain sebagai elemen dekoratif.

Sambungan pada kaki bangunan menunjukkan penggunaan pedestal / umpak. Melalui pengamatan yang seksama didapati bahwa pada pedestal tersebut terdapat bagian berupa mortar yang ditambahkan belakangan. Diduga perlakuan ini ditempuh untuk mendapatkan muka pedestal yang lebih tinggi dari posisi awalnya. Kemungkinan hal ini dimaksudkan agar bagian ujung batang bambu tidak terkena air di lantai atau bersentuhan dengan lantai yang memperbesar kemungkinan serangan rayap. Tetapi sebagai akibatnya batang bambu menjadi terkubur di dalam adukan, seperti yang terjadi di Bamboo Koening, sehingga kelemahan yang ditemui di Bamboo Koening diduga terjadi juga di OBI Campus Great Hall ini.

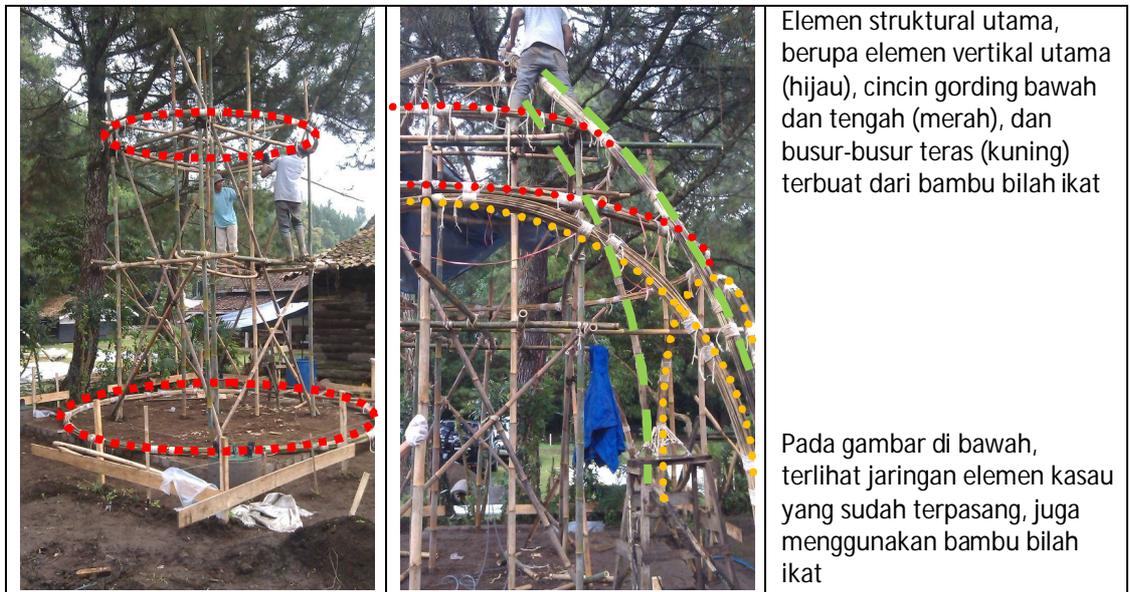


3) Mushola Bambu, Cibodas

a) Perlakuan bahan

Konstruksi bambu pada bangunan mushola di Cobodas ini hampir sepenuhnya menggunakan bambu bilah ikat. Bambu bilah ikat digunakan pada elemen struktur utama mulai dari elemen 'vertikal' utama, busur-busur teras, cincin gording bawah & tengah, kasau, dan sejumlah elemen lain. Cincin gording atas

menggunakan bahan plat baja yang dibentuk melingkar, berperan sebagai ring tekan. Pada bagian *skylight* atap, konstruksi rangka batang untuk dudukan penutup atap fiberglass menggunakan bambu berdiameter 6-8cm. Penggunaan bambu bilah secara intensif ditempuh karena rancangan didominasi elemen-elemen garis lengkung sebagai pembentuk massa akhirnya.



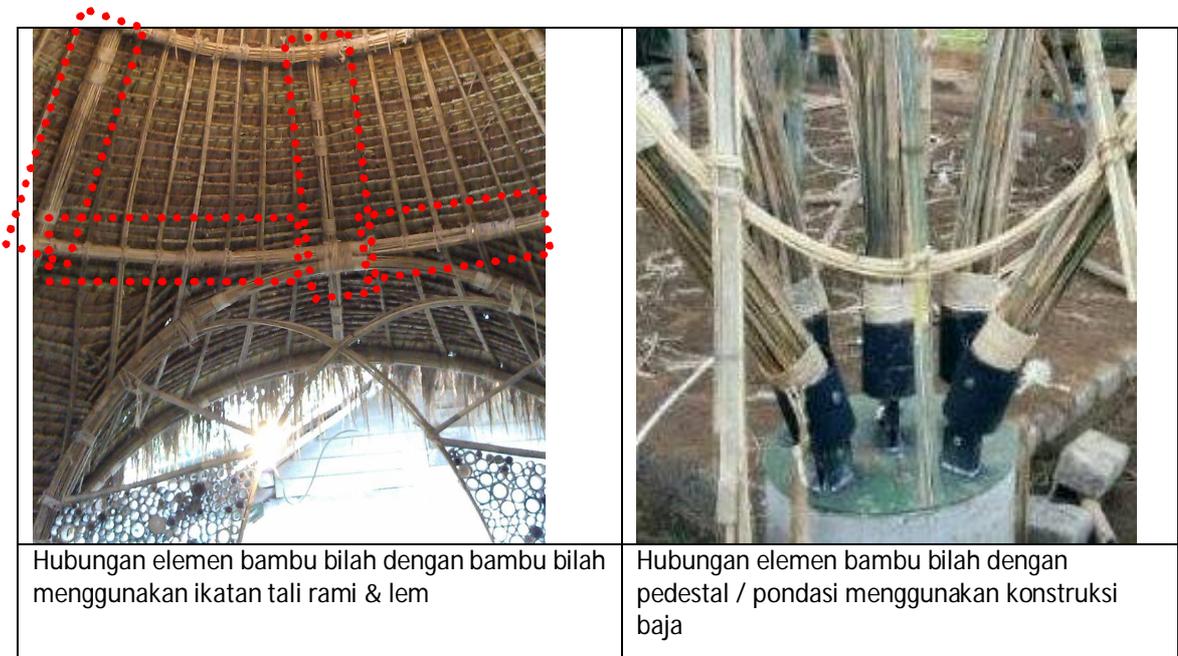
Penggunaan elemen struktur lengkung ini merupakan bagian dari uji perilaku penyaluran gaya gravitasional yang menggunakan konstruksi bambu bilah ikat. Pada elemen-elemen berbentuk busur dan lengkung, gaya gravitasional dapat dialirkan dengan baik. Indikasi dari pernyataan ini adalah deformasi yang nyaris tidak ada pada elemen-elemen yang dimaksud.

Deformasi yang parah ditemui pada elemen ‘vertikal utama’, yang dalam desain bangunannya berperilaku mirip seperti kolom. Dalam prosesnya, elemen ini tidak dapat mempertahankan bentuk awalnya yang memiliki satu kelengkungan saja. Deformasi yang dialami elemen ini berupa timbulnya kelengkungan yang tidak direncanakan di beberapa titik. Hal ini mengakibatkan deformasi pada bentuk akhir bangunan.

Melalui pengamatan dan analisis aliran gaya, fenomena deformasi ini dinilai dapat terjadi karena, pertama, elemen ‘vertikal utama’ dipaksa menerima gaya aksial dari beban gravitasional dengan hanya satu tumpuan tak bergeser di satu ujungnya saja. Bandingkan dengan elemen busur yang memiliki dua tumpuan tak bergeser (walaupun bersifat sendi) di kedua ujungnya. Kedua, konstruksi bambu bilah ikat tidak mampu menyalurkan beban secara aksial (paralel serat bahan) karena tidak memiliki kekakuan elemen yang cukup bila dibandingkan terhadap sebatang bambu utuh. Bambu utuh mendapatkan kekakuan inherennya dari ruas-ruas dan ikatan pada kulit bambunya yang sangat kuat.

b) Desain sambungan & alat sambung

Sistem sambungan utama pada konstruksi bangunan mushola Cibodas ini adalah ikatan yang menggunakan tali rami berdiameter +/- 5mm dan diperkuat dengan lem akrilik putih. Hubungan antara elemen bambu bilah dengan pondasi menggunakan konstruksi perantara yang terbuat dari plat dan pipa baja, dilengkapi mur-baut. Sedangkan hubungan antar elemen bambu bilah kembali menggunakan ikatan dari tali rami dan lem putih.



Sistem sambungan menggunakan ikatan baik tali ijuk maupun rami sangat bergantung kepada tenaga dan keahlian pengikatnya. Terutama pada konstruksi bambu bilah ikat, kekuatan ikatan sangat berpengaruh kepada

integritas konstruksi setiap elemen bambu ikat. Akan lebih baik bila ikatan dapat menggunakan alat ikat yang lebih terstandarisasi, seperti klem baja atau kabel sling dengan alat penarik khusus.

5.2. Pembahasan Variabel Preservasi Bambu dengan Pengawetan

5.2.1. Pembuatan benda uji

Benda uji yang digunakan adalah potongan dari keempat jenis bambu yang dipilih. Potongan diambil dari bambu dengan diameter 8-10cm, masing-masing sepanjang 10cm. Setiap jenis pengawetan / treatment diterapkan pada keempat jenis bambu. Masing – masing jenis bambu diwakili 4 (empat) uji untuk setiap pengawetan (lihat tabel).

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu	Bambu (jenis & jumlah)			
			Tali	Gombang	Wulung	Haur
1	Tanpa Pengawetan		4	4	4	4
2	Direndam air biasa	3 hari	4	4	4	4
3	Direndam air biasa	7 hari	4	4	4	4
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	4	4	4	4
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	4	4	4	4
6	direndam larutan borax	3 hari	4	4	4	4
7	direndam larutan borax	7 hari	4	4	4	4
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	4	4	4	4
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	4	4	4	4
	Kode warna		Biru	Merah	Hijau	Pink

5.2.2. Larutan pengawet & metode pengawetan

Larutan pengawet yang digunakan adalah larutan campuran boraks (di-Natrium Tetraborat Dekahidrat / $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dan asam borat (*boric acid* / H_3BO_3). Perbandingan kedua bahan dan air pelarutnya adalah sebagai berikut:

No.	Bahan	Volume / berat
1.	di-Natrium Tetraborat Dekahidrat	640 gram
2.	asam borat	960 gram
3.	Air (pelarut)	20 liter

Metode pengawetan yang digunakan adalah metode perendaman (*immersion*) dengan wadah perendaman berupa ember / *pail* berkapasitas 1 galon (20 liter). Perendaman dipilih karena merupakan metode yang paling mudah dilakukan oleh masyarakat awam.

Sedangkan bahan kimia boraks dan asam borat dipilih sebagai bahan pengawet untuk memenuhi kriteria bahan pengawet yang berdampak negatif terminimum terhadap lingkungan Elemen lingkungan yang akan terkena dampak langsung adalah tanah dan/atau air yang akan menerima air bekas rendaman.

Perbandingan bahan pengawet terhadap air pelarut mengacu kepada beberapa rujukan tentang proporsi larutan boraks untuk metode perendaman

Waktu perendaman ditentukan 3 dan 7 hari, baik menggunakan larutan boraks maupun air biasa untuk mencapai waktu perendaman yang jauh lebih cepat daripada waktu perendaman dengan air / lumpur secara tradisional (2-3 bulan) Perendaman selama 3 hari dibandingkan dengan 7 hari untuk melihat perbedaan performa dari pengawetan.

Varian dari dua metode pengawetan tersebut adalah dengan pemanasan dan tanpa pemanasan. Pemanasan dipilih juga karena relatif mudah dilakukan dalam skala kecil. Tujuan dari pemanasan secara teoritis adalah:

- Menghilangkan kandungan gula dalam batang bambu
- Membunuh telur kutu bubuk yang ditinggalkan induk kutu di dalam daging batang bambu
- Memudahkan pelarutan dan penyerapan larutan boraks

5.2.3. Pengujian laboratorium

1) Bahan

	Benda uji	

2) Alat

No.	Nama Alat	Keterangan
1.	Wood moisture tester Constant Wood Pro 100 	Setting / Setelan: Mode B Digunakan untuk mengukur kadar air yang terkandung dalam benda uji
2.	Timbangan eletronik + mangkuk 	Digunakan untuk menakar berat bahan boraks dan asam borat sesuai dengan proporsi yang digunakan
3.	Sendok semen	

		
4.	Gergaji mesin 	
5.	Kaleng 1 galon 	
6.	Kompur gas LPG	Kompur gas LPG biasa dengan tabung gas LPG 12 atau 3 kg
7.	Oven pengering 	Lab. Struktur Teknik Sipil
8.	Rak jemur (untuk media simulasi pengaruh <i>weathering</i>)	

5.2.4. Metode dan Tahapan Pengujian

1) Tujuan utama pengujian:

- mengamati perubahan fisik benda uji sebagai indikator performa masing-masing metode pengawetan sebagai bagian dari upaya peningkatan durabilitas bambu.

2) Metode pengujian:

- setelah benda uji diawetkan dan dikeringkan di oven, benda uji diletakkan pada rak uji (lihat foto).
- Rak uji terdiri dari dua jenis:

- yang memungkinkan benda uji terpapar pada semua elemen (hujan, sinar matahari, perubahan temperatur dan kelembaban udara)
- yang memungkinkan benda uji terpapar pada semua elemen KECUALI hujan, sebagai simulasi bahan bangunan yang ditempatkan pada bagian yang terlindung teritisan (terletak di luar ruangan / udara terbuka, tidak terkena air hujan, tetapi masih mungkin terpapar sinar matahari pada waktu-waktu tertentu)
- Rak uji diletakkan di udara terbuka di luar ruangan, untuk memungkinkan paparan elemen sinar matahari, hujan, perubahan temperatur luar ruangan (dari siang ke malam hari). Lokasi perletakan rak uji dipilih di tempat terbuka yang terhindar dari bayangan bangunan dan terpapar langsung oleh sinar matahari dan hujan.

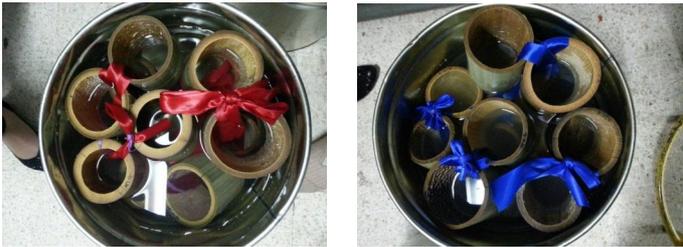
5.2.5. Indikator perubahan fisik

Indikator fisik mengambil aspek-aspek yang berpengaruh pada desain arsitektural dan kekuatan bahan, yaitu

- Perubahan warna
- Perubahan konsistensi benda uji (dinding bambu):
 - timbul serbuk / tidak
 - pecah / tidak
- Perubahan / kerusakan pada kulit luar benda uji:
 - Pengelupasan / tidak
 - Timbul gelembung / tidak

5.2.6. Proses pelaksanaan dan hasil amatan pada tahap-tahap pengujian

No.	Tahap	Keterangan
1.	Pengujian kadar air benda uji 	Sebelum menjalani perlakuan pengawetan. Setiap benda uji diukur kadar airnya dengan alat <i>moisture meter</i> .
2.	Pengelompokan & kodifikasi benda uji untuk tiap perlakuan. Kodifikasi dilakukan untuk memudahkan identifikasi benda uji.	Kodifikasi Biru: Bambu tali Merah: Bambu Gombong Hijau: Bambu Wulung Pink: Bambu Haur

		<p>Pita lebar: waktu perlakuan lebih lama Pita sempit: waktu perlakuan lebih singkat</p>
3.	<p>Perendaman & pemanasan (sebagian)</p> 	<p>Benda uji direndam di dalam pail / ember kaleng berkapasitas 20 l dengan durasi yang sudah direncanakan</p>
4.	<p>Setelah perendaman, sebelum pengeringan di oven, perbedaan kondisi umum ditemui pada benda uji berdasarkan metode pengawetan yang dialaminya:</p> <p>Rendam air biasa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bambu mengalami pembusukan, ditandai dengan timbulnya bau busuk dan timbul lapisan lendir pada air rendaman dan permukaan bambu, - warna kulit berubah menjadi kekuningan, kecuali Bambu Wulung <p>Rendam air borax:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bambu yang terendam sepenuhnya di dalam larutan tidak mengalami pembusukan (tidak timbul bau), - warna berubah menjadi kekuningan, kecuali Bambu Wulung <p>Rendam air & dipanaskan (60-80°C):</p> <ul style="list-style-type: none"> - bambu tidak mengalami pembusukan (tidak timbul bau) setelah diangin-angin selama empat hari - warna berubah menjadi kekuningan, kecuali Bambu Wulung <p>Rendam air borax & dipanaskan (60-80°C):</p> <ul style="list-style-type: none"> - bambu tidak mengalami pembusukan (tidak timbul bau) setelah diangin-angin selama empat hari - warna berubah menjadi kekuningan, kecuali Bambu Wulung 	
5.	<p>Pengeringan benda uji : benda uji berada di dalam oven (dalam keadaan terbuka) sebelum menjalani pengeringan</p>	<p>Sebelum ditempatkan pada rak jemur / rak <i>weathering</i>, benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C sampai ke kadar air 12-16%.</p>

		
6.	<p>Proses <i>weathering</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Benda uji diletakkan pada rak jemur dengan naungan <i>plexiglass</i>  <ul style="list-style-type: none"> - Benda uji diletakkan pada rak jemur tanpa naungan 	<p>Proses uji penyingkapan (<i>expose</i>) terhadap cuaca (<i>uji weathering</i>) dilakukan dalam waktu 8 - 12 minggu untuk melihat proses perubahan dan ketahanan fisik dari benda uji.</p> <p>Selain terhadap cuaca, benda uji juga dicampur dengan benda uji tambahan yang sudah terkena serangan kutu bubuk.</p>

Pengujian ketahanan terhadap cuaca (*weathering*) dan serangan kutu bubuk akan dilakukan selama 8-12 minggu. Durasi tersebut diharapkan memungkinkan benda uji

terekspos ke berbagai keadaan cuaca secara lengkap (terpapar sinar matahari, hujan, kelembaban udara luar ruangan, penurunan temperatur malam hari).

5.3. Analisis komparatif-kuantitatif

Analisis komparatif – kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil pengamatan terhadap perubahan fisik benda-benda uji yang melalui perlakuan berbeda-beda dan yang tidak menerima perlakuan pengawetan atau perendaman apapun. Perbandingan antar perubahan fisik kesemua benda uji yang teramati dicatat berdasarkan jumlah benda uji dari masing – masing cara pengawetan / tanpa pengawetan. Keseluruhan hasil diharapkan akan dapat menunjukkan kecenderungan hasil dari proses pengawetan dan *weathering* yang dilakukan.

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Tali – <i>Terkena hujan</i>																							
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4				Minggu ke-5				Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik	
No. Benda uji			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	Tanpa Pengawetan		H	H	Ut	1L																				
2	Direndam air biasa	3 hari	HK	HK	Ut	Ut																				
3	Direndam air biasa	7 hari	HK	K			K	K																		
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	K	K			K	K																		
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	K	K			K	K																		
6	direndam larutan borax	3 hari	K	K			K	K																		
7	direndam larutan borax	7 hari	K	K			K	K																		
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	K	K			K	K																		
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	K	K			K	K																		
Warna awal: hijau, hijau tua, hijau kekuningan Tekstur kulit: kesat			Notasi perubahan warna H = hijau, HK = hijau kekuningan HgH = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua						Notasi perubahan fisik						Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah											

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Tali – <i>Tidak terkena hujan</i>																							
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4				Minggu ke-5				Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik	
No. Benda uji			3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4		
1	Tanpa Pengawetan		H	H	Ut	1L	K	K	5L	11L																
2	Direndam air biasa	3 hari	HK	HK	Ut	Ut	K	K	1L	Ut																
3	Direndam air biasa	7 hari	HK	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
6	direndam larutan borax	3 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
7	direndam larutan borax	7 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
Warna awal: hijau, hijau tua, hijau kekuningan Tekstur kulit: kesat			Notasi perubahan warna H = hijau, HK = hijau kekuningan HgH = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua						Notasi perubahan fisik						Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah											

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Gombang – <i>Terkena hujan</i>																			
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4		Minggu ke-5		Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna	fisik	warna	fisik	warna	fisik	warna	fisik
	No. Benda uji		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Tanpa Pengawetan		HgK	HgK	Ut	1L	K	K	Ut	Ut												
2	Direndam air biasa	3 hari	HK	HK	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
3	Direndam air biasa	7 hari	HK	Hk	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
6	direndam larutan borax	3 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
7	direndam larutan borax	7 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
	Warna awal: hijau bergaris kuning / terang Tekstur kulit: licin	Notasi perubahan warna	H = hijau, HK = hijau kekuningan HgK = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua								Notasi perubahan fisik	Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah										

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Gombang – <i>Tidak terkena hujan</i>																			
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4		Minggu ke-5		Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna	fisik	warna	fisik	warna	fisik	warna	fisik
	No. Benda uji		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
1	Tanpa Pengawetan		HgK	HgK	Ut	1L	HK	HK	5L	6L												
2	Direndam air biasa	3 hari	HK	HK	Ut	Ut	HK	HK	Ut	Ut												
3	Direndam air biasa	7 hari	HK	HK	Ut	Ut	HK	HK	Ut	Ut												
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
6	direndam larutan borax	3 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
7	direndam larutan borax	7 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut												
	Warna awal: hijau bergaris kuning / terang Tekstur kulit: licin	Notasi perubahan warna	H = hijau, HK = hijau kekuningan HgK = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua								Notasi perubahan fisik	Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah										

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Wulung –Terkena hujan																			
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4		Minggu ke-5		Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik	
No. Benda uji			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Tanpa Pengawetan		Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	1L	Ut												
2	Direndam air biasa	3 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
3	Direndam air biasa	7 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
6	direndam larutan borax	3 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
7	direndam larutan borax	7 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
Warna awal: hitam / gelap / coklat tua Tekstur kulit: kesat			Notasi perubahan warna H = hijau, HK = hijau kekuningan HgH = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua								Notasi perubahan fisik				Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah							

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Wulung – Tidak terkena hujan																			
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4		Minggu ke-5		Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik	
No. Benda uji			3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
1	Tanpa Pengawetan		Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	2L												
2	Direndam air biasa	3 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
3	Direndam air biasa	7 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
6	direndam larutan borax	3 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
7	direndam larutan borax	7 hari	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	Hm	Hm	Ut	Ut	Hm	Hm	Ut	Ut												
Warna awal: hitam / gelap / coklat tua Tekstur kulit: kesat			Notasi perubahan warna H = hijau, HK = hijau kekuningan HgH = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua								Notasi perubahan fisik				Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah							

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Haur – <i>Terkena hujan</i>																							
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4				Minggu ke-5				Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik	
No. Benda uji			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	Tanpa Pengawetan		H	H	Ut	1L	HK	HK	Ut	5L																
2	Direndam air biasa	3 hari	HK	HK	Ut	Ut	K	K	Ut	1L																
3	Direndam air biasa	7 hari	HK	HK	Ut	Ut	K	HK	Ut	Ut																
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
6	direndam larutan borax	3 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
7	direndam larutan borax	7 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
Warna awal: hijau, hijau muda/terang Tekstur kulit: licin			Notasi perubahan warna H = hijau, HK = hijau kekuningan HgH = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua								Notasi perubahan fisik								Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah							

No.	Jenis Pengawetan / Treatment	Waktu treatment	Pengamatan perubahan fisik – Jenis Bambu: Bambu Haur – <i>Tidak terkena hujan</i>																							
			Minggu ke-1				Minggu ke-2				Minggu ke-3				Minggu ke-4				Minggu ke-5				Minggu ke-6			
			warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik		warna		fisik	
No. Benda uji			3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4		
1	Tanpa Pengawetan		H	H	Ut	1L	HK	HK	1L	6L																
2	Direndam air biasa	3 hari	HK	HK	Ut	Ut	K	K	2L	Ut																
3	Direndam air biasa	7 hari	HK	HK	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
4	direndam air biasa dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
5	direndam air biasa dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
6	direndam larutan borax	3 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
7	direndam larutan borax	7 hari	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
8	direndam larutan borax dan dipanaskan	15 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
9	direndam larutan borax dan dipanaskan	60 menit	K	K	Ut	Ut	K	K	Ut	Ut																
Warna awal: hijau, hijau muda/terang Tekstur kulit: licin			Notasi perubahan warna H = hijau, HK = hijau kekuningan HgH = Hijau garis kuning, K = kuning KG = Kuning Garis, Hm = hitam / coklat tua								Notasi perubahan fisik								Ut = utuh; (angka)L = jumlah lubang kutu; Tpg = timbul tepung; Klp = kulit kelupas / terpisah; Pch = pecah							

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Sejumlah kesimpulan dapat ditarik dari masa pengujian sejauh ini. Sesuai dengan butir-butir indikator fisik, kesimpulan yang dapat dirumuskan dapat dijabarkan pada butir-butir berikut:

6.1.1. Pencegahan kontak dengan air

Air hujan menjadi sumber kontak utama dan pertama antara air dengan konstruksi bambu. Sumber kedua adalah air yang tergenang di permukaan lantai atau tanah. Kontak antara bambu pada struktur dan konstruksi bangunan dengan air dalam jangka waktu lama atau dengan tingkat kekerapan tinggi secara bertahap akan melemahkan bahan bambu karena kelembaban dan air menjadi media hidup organisme pengurai seperti jamur dan bakteri pembusuk.

Perlindungan bahan bambu menjadi penting, terutama melalui penerapan rancangan bentuk bangunan yang tepat. Detil-detil dan penyelesaian pertemuan antar bahan pun menjadi sangat krusial. Setiap detil harus menjamin bambu tetap kering, dengan menghindari kemungkinan genangan atau celah-celah yang memungkinkan air atau kelembaban tertampung, terutama sumber air yang tidak terduga seperti air pembersih lantai, rembesan dari area basah, atau tumpahan minuman, dan lainnya.

Penggunaan overhang / teritis yang lebar dengan ketinggian yang tepat, serta penggunaan pedestal beton atau batu dapat menjadi metode tepat guna untuk mencegah kontak konstruksi bambu dengan air.

6.1.2. Pencegahan kontak dengan tanah

Selain hujan, tanah juga merupakan sumber kelembaban. Selain air, rayap juga menjadi ancaman bagi konstruksi bambu (dan kayu) yang datang dari tanah asli. Penyelesaian berupa penggunaan pedestal batu atau beton dengan ketinggian yang cukup (minimal 50cm dari muka lantai) dapat membantu mencegah kelembaban dan rayap bergerak naik. Perletakan pedestal dan rancangan bagian bangunan lainnya juga perlu diupayakan sedemikian sehingga area pedestal mendapat pencahayaan yang cukup karena rayap tidak tahan berada di tempat terang.

6.1.3. Penghawaan dan aliran udara yang baik

Aliran udara tergantung pada dua hal, yaitu kondisi tapak dan perletakan massa bangunan di dalamnya, serta aliran udara di dalam bangunan itu sendiri. Kondisi tapak yang dimaksud adalah iklim mikro, termasuk pola aliran angin pada kawasan di mana tapak berada, vegetasi, keberadaan bangunan eksisting dan rencana pembangunan di masa datang. Perletakan massa bangunan perlu memperhitungkan faktor-faktor tersebut sebagai bagian dari analisis dalam menentukan bentuk dan perletakan massa bangunan berkonstruksi bambu yang baru.

Sedangkan aliran udara dalam bangunan akan sangat dipengaruhi upaya dan pemahaman arsitek tentang berbagai metode untuk membangkitkan aliran udara. Pemanfaatan prinsip stack effect, pengenalan area tapak dengan potensi udara bertekanan rendah dan tinggi akan sangat membantu perancangan bentuk yang memungkinkan terjadi aliran udara yang memadai dalam bangunan.

6.1.4. Penggunaan bambu dalam desain

Perlakuan bahan yang tepat menjadi penting agar bambu dapat bertahan lama dalam bentuknya pada konstruksi bangunan. Pengenalan karakter bahan bambu dan perilakunya dalam menerima gaya dari arah yang berlainan sangat menentukan pilihan metode konstruksi dan penyambungan dengan elemen bangunan lainnya. Dari pengamatan pada ketiga studi kasus, didapati bahwa batang bambu utuh memiliki tingkat kekakuan jauh lebih baik dari bambu bilah. Hal ini memungkinkan bambu utuh menyalurkan gaya lebih baik dari bambu bilah, terutama gaya aksial. Walaupun demikian, bambu utuh memiliki keterbatasan dalam mengakomodir bentuk-bentuk melengkung.

Sebaliknya bambu bilah ikat sangat baik dalam mengakomodir bentuk-bentuk berkurva seperti busur, lingkaran, atau kurva dengan lengkungannya di beberapa titik. Dengan tumpuan yang kuat dan tidak bergeser di kedua ujungnya, dengan pembebanan yang relatif merata di sepanjang lengkungannya, konstruksi bambu bilah ikat dapat mempertahankan bentuk lengkungannya dengan deformasi yang sangat minim.

Desain sambungan dan alat sambung yang tepat adalah konsekuensi logis dari perlakuan bahan bambu yang tepat. Tipe-tipe sambungan bambu biasanya menghendaki pertemuan permukaan yang benar-benar mengikuti profil lengkung permukaan bambu (utuh). Alat sambung yang didapati tepat untuk mengakomodasi peralihan penyaluran gaya adalah mur-baut, tali (ijuk dan rami), serta alat sambung dari plat atau profil baja lainnya.

6.1.5. Perubahan warna

Secara umum, bambu melalui proses pengeringan alami (3-8 minggu) akan mengalami perubahan warna kulit. Warna akhir yang dicapai pada kondisi kering umumnya adalah kuning pudar kecoklatan.

Dari pengujian yang sudah dan sedang berlangsung, proses pengawetan yang tidak menyertakan pemanasan menunjukkan percepatan perubahan warna kulit bambu, kecuali bambu wulung. Bambu wulung tidak mengalami perubahan warna yang berarti setelah pengawetan dan bahkan setelah masa *weathering* berlangsung.

Proses pengawetan yang menyertakan pemanasan secara konsisten mengakibatkan perubahan warna pada ketiga jenis bambu selain bambu wulung. Perubahan warna terjadi segera setelah benda uji selesai menjalani pemanasan.

Dari pengamatan di atas, dapat disimpulkan bahwa konsistensi warna pada bamboo wulung setelah melalui proses pengawetan dan *weathering* menjadi kelebihan dari jenis ini. Jenis bambu lainnya menunjukkan perubahan warna segera setelah mengalami upaya pengawetan. Perubahan warna paling cepat ditunjukkan oleh Bambu Tali yang pada

minggu pertama salah satu benda ujinya sudah langsung mencapai warna kuning setelah melalui proses tanpa pemanasan.

Secara arsitektur, perubahan dan konsistensi warna dari tiap jenis bamboo yang diuji dapat menjadi data yang cukup akurat dalam pemilihan bahan bambu. Untuk keperluan perancangan, arsitek dapat mempertimbangkan karakter dari warna akhir yang ditampilkan keempat jenis bambu tersebut, sesuai dengan nuansa rancangan yang ingin diwujudkan.

6.1.6. Perubahan konsistensi benda uji (dinding bambu)

1) Timbulan serbuk / tepung

Dari masa pengujian pada rak jemur dalam dua minggu yang berjalan, rata-rata benda uji belum menunjukkan timbulan serbuk/tepung hasil pencernaan kutu bubuk. Walaupun demikian, sejumlah kecil benda uji yang mengalami pengawetan mulai menunjukkan kehadiran lubang-lubang kecil. Lubang-lubang tersebut adalah indikator khas aktivitas kutu bubuk. Pengamatan pada kondisi fisik, pengawetan dengan perendaman air biasa selama tiga hari menunjukkan indikasi serangan kutu bubuk paling cepat di antara metode pengawetan lainnya. Fenomena ini menunjukkan ketepatan kearifan local dari metode pengawetan tradisional dengan cara perendaman yang memakan waktu tidak kurang dari tiga bulan.

2) Pecah / belah

Rata-rata benda uji tidak/belum mengalami pecah atau belah akibat pemanasan atau proses perendaman. Fenomena yang teramati adalah bahwa benda uji mengalami perubahan dimensi (membesar) ketika direndam. Indikasi ditunjukkan oleh sejumlah benda uji yang agak sulit dikeluarkan dari pail / ember setelah direndam. Pengamatan perubahan dimensi ini memang tidak menjadi bagian dari faktor yang direncanakan untuk diamati pada penelitian ini, tetapi menjadi catatan yang dinilai penting. Pada penelitian bamboo selanjutnya, karakter muai-susut ini dapat menjadi salah satu faktor amatan yang direncanakan secara sistematis.

6.1.7. Perubahan / kerusakan pada kulit luar benda uji:

1) Pengelupasan / tidak

Seluruh benda uji tidak/belum mengalami pengelupasan kulit terluarnya, baik setelah proses pengawetan (dengan dan tanpa pemanasan) maupun proses *weathering*. Untuk bamboo tali dan wulung yang karakter kulitnya kesat, kekesatan tidak berubah setelah proses pengawetan. Karakter kesat, yang secara visual dapat dikategorikan sebagai permukaan dengan *finishing 'matte / doff'* dapat menjadi pertimbangan dalam perancangan arsitektur.

2) Kulit menggelembung / tidak

Tidak / belum terlihat penggelembungan kulit bambu sebagai indikator terpisahnya kulit dari daging dinding batangnya. Sejauh ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan pengawetan, terutama yang menyertakan pemanasan, tidak mengubah konsistensi ikatan antara lapisan kulit bambu dengan daging batangnya.

6.2. Saran

Penelitian mengenai durabilitas bambu dapat dilanjutkan untuk mengetahui lebih jauh berbagai efek dari proses pengawetan terhadap properti fisik lainnya, seperti kekuatan, kepadatan, bau, dan lain-lain. Dengan makin lengkapnya pengetahuan mengenai berbagai karakter fisik bambu yang sudah ditingkatkan durabilitasnya, diharapkan akan makin mudah bagi arsitek untuk menjadikan bambu sebagai pilihan utama bahan bangunan pengganti kayu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Charleson, Andrew W. 2005. *Structure as Architecture*. Oxford: Architectural Press.
2. Ching, Francis D.K. 2000. *Arsitektur : Bentuk, Ruang dan Tatahan*. Jakarta: Erlangga.
3. Frick, Heinz. 1998. *Sistem Bentuk Struktur Bangunan : Dasar-dasar konstruksi dalam Arsitektur*. Yogyakarta: Kanisius.
4. Frick, Heinz. 2004. *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Yogyakarta: Kanisius.
5. MacDonald, Angus J. 2001. *Struktur & Arsitektur*, terj. Dr. Ir. Pariatmono dan Ir. Paulus Hanote Adjie. Jakarta : Erlangga.
6. Sandaker, Bjorn N. 2008. *On Span and Space: Exploring Structure in Architecture*. New York: Routledge.
7. Villegas, Marcelo. 2003. *New Bambu: Architecture and Design*. Villegas Editores
8. Xiaou, Yan. 2007. *Modern Bambu Structure*. Beijing: CRC Press.
9. Yu, Xiaobing. 2008. *Bambu: Structure and Culture*. VDM Verlag Dr. Mueller e.K.
10. Vishwakarma, Bhawan, Sheheed Jeet Singh Marg. 2006. *Preservation of Bamboo, Training Manual TM 05 07/0*. National Mission On Bamboo Applications. TIFAC, Dept of Science and Technology, Government of India.
11. Janssen, Jules JA. 2000. *Designing and Building With Bamboo*. TU Eindhoven, The Netherlands, technical report no. 20, International Network For Bamboo and Rattan.
12. Dunkelberg, Klaus, Team of The IL & Siegfried Gaß. 1985. *Bambus / Bamboo*. Stuttgart. Karl Kramer Verlag.