

SKRIPSI 44

**EVALUASI & EKSPERIMENTASI
DESAIN MODUL, POLA & SAMBUNGAN
PADA KONSTRUKSI BAMBU
DENGAN SISTEM PANTOGRAF**



**NAMA : ELLEN GOHTAMI
NPM : 2014420185**

PEMBIMBING: ANASTASIA MAURINA, ST., MT

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
Akreditasi Institusi Berdasarkan BAN Perguruan Tinggi No: 4339/SK/BAN-PT/
Akred/PT/XI/2017 dan Akreditasi Program Studi Berdasarkan BAN Perguruan
Tinggi No: 429/SK/BAN-PT/Akred/S/XI/2014**

**BANDUNG
2018**

SKRIPSI 44



**EVALUASI & EKSPERIMENTASI
DESAIN MODUL, POLA & SAMBUNGAN
PADA KONSTRUKSI BAMBU
DENGAN SISTEM PANTOGRAF**



NAMA : ELLEN GOHTAMI

NPM : 2014420185

PEMBIMBING:

ANASTASIA MAURINA, ST., MT

PENGUJI :

DR. IR. ALWIN S. SOMBU, MT

M. BUDIANASTAS P, ST., MT

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
Akreditasi Institusi Berdasarkan BAN Perguruan Tinggi No: 4339/SK/BAN-PT/
Akred/PT/XI/2017 dan Akreditasi Program Studi Berdasarkan BAN Perguruan
Tinggi No: 429/SK/BAN-PT/Akred/S/XI/2014**

**BANDUNG
2018**



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN SKRIPSI
(Declaration of Authorship)

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ellen Gohtami
NPM : 2014420185
Alamat : Jalan Rengas No. 50, Komp. Cemara Asri, Deliserdang, Medan
Judul Skripsi : Evaluasi & Eksperimentasi Desain Modul, Pola dan
Sambungan pada Konstruksi Bambu dengan Sistem Pantograf

Dengan ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa :

1. Skripsi ini sepenuhnya adalah hasil karya saya pribadi dan di dalam proses penyusunannya telah tunduk dan menjunjung Kode Etik Penelitian yang berlaku secara umum maupun yang berlaku di lingkungan Universitas Katolik Parahyangan.
2. Jika dikemudian hari ditemukan dan terbukti bahwa isi di dalam skripsi ini, baik sebagian maupun keseluruhan terdapat penyimpangan-penyimpangan dari Kode Etik Penelitian antara lain seperti tindakan merekayasa atau memalsukan data atau tindakan sejenisnya, tindakan plagiarisme atau autoplagarisme, maka saya bersedia menerima seluruh konsekuensi hukum sesuai ketentuan yang berlaku.

Bandung, Mei 2018

Ellen Gohtami

Abstrak

EVALUASI & EKSPERIMENTASI DESAIN MODUL, POLA & SAMBUNGAN PADA KONSTRUKSI BAMBU DENGAN SISTEM PANTOGRAF

Oleh
Ellen Gohtami
NPM: 2014420185

Struktur *deployable* adalah sejenis struktur yang dapat bergerak sehingga dimensi struktur dapat membesar ataupun mengecil. Bangunan yang bersifat *deployable* memiliki nilai kepraktisan tinggi dan sifat bangunan yang berkelanjutan. Keunggulan struktur dan konstruksi *deployable*, salah satunya adalah sistem pantograf yang merupakan struktur dengan mekanisme gunting. Sistem pantograf dapat dicapai dengan menggunakan jenis material yang ringan, berukuran relatif kecil tetapi kuat menahan beban. Bambu sebagai material konstruksi yang sedang populer dengan sifatnya yang berkelanjutan, terbukti memiliki sifat-sifat material yang serupa dengan kebutuhan material sistem pantograf. Oleh karena itu penggunaan bambu pada struktur dan konstruksi pantograf pada bangunan *deployable* memiliki potensi besar untuk dikembangkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi desain modul, pola dan sambungan pada konstruksi bambu dengan sistem pantograf yang merupakan pengembangan dari ketiga objek studi yaitu *Pavilion PUC-RIO*, *Cimanggung Community Shelter & UPC* yang mengaplikasi konstruksi pantograf bambu di 3 aspek yang berbeda pada bangunan masing-masing objek studi yang akan dievaluasi dengan metode analisis deksriptif pada bentuk, modul, pola, sambungan, penyaluran beban dan *deployability*.

Setelah mendapatkan evaluasi ketiga objek studi, eksperimentasi dilakukan dengan mengubah jenis sambungan antara ikat dan mur-baut, lalu mengembangkan pola pantograf dari grid reguler menjadi grid tartan. Hasil eksperimen membuktikan dengan memadukan keduanya didapatkan sebuah pola yang menghasilkan berbagai bentuk akhir yang berbeda.

Kata-kata kunci: sistem pantograf, bangunan *deployable*, konstruksi bambu, dan *deployability*.

Abstract

EVALUATION & EXPERIMENTATION ON MODULE, PATTERN & JOINT DESIGNS OF BAMBOOS CONSTRUCTION USING THE PANTOGRAPH SYSTEM

by
Ellen Gohtami
NPM: 2014420185

Deployable buildings have been developed because of its practicality, convenience and sustainability. One of the deployable structures type, is the scissors-like mechanism or the pantographic system. It can be built by using a material that is lightweight, relatively small in size but has strong load-bearing capabilities. Nowadays, within the issues of global warming and the scarcity of natural resources, the use of steel and timber is no longer sustainable. Bamboo is a rising star as a popular building material with plenty of sustainable aspects, proving to have the same material properties as steel and timber making bamboo a suitable alternative to be developed in deployable buildings with pantographic structures.

The purpose of this research is to find out the potential of bamboo construction's module, pattern and joint designs using the pantograph system. In order to do so, an evaluation is conducted on three buildings (Pavilion PUC-RIO, Cimanggung Community Shelter and UPC) applied bamboo pantographic construction in 3 different ways.

The use of bamboo in pantographic structures were deemed, appropriate in deployable buildings. Potentials to develop diverse shapes and forms with experimentation on module, patterns and joint designs were conducted, resulting in a pattern of pantographic structures could create different forms of deployable structures and shapes.

Keywords: *pantographic systems, deployable buildings, bamboo construction, and deployability.*

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi yang tidak dipublikasikan ini, terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Katolik Parahyangan, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI dan tata cara yang berlaku di lingkungan Universitas Katolik Parahyangan.

Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh skripsi haruslah seizin Rektor Universitas Katolik Parahyangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penelitian ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir Fakultas Teknik Program Studi Arsitektur, Universitas Parahyangan. Selama proses penelitian berlangsung, penulis mendapatkan bimbingan, arahan, dukungan, dan saran. Untuk itu rasa terima kasih sedalam-dalamnya penulis sampaikan kepada:

- Dosen pembimbing, Ibu Anastasia Maurina, ST., MT atas saran, pengarahan, dan masukan yang telah diberikan serta berbagai ilmu yang sangat berharga.
- Dosen penguji, Bapak Dr. Ir. Alwin S. Sombu, MT dan Bapak M. Budianastas P, ST., MT Yang telah memberikan masukan dan bimbingan yang diberikan.
- Orang tua, Aurelius Aaron, Hervin Odhiwira, Gerry Anderson, Jessica Widjaja dan teman-teman freeday bandung yang selalu mengingatkan dan memberi dukungan penuh.
- Rahmia dan Yosa selaku teman-teman seperjuangan yang selalu mengingatkan dan memberi informasi terkait pengerjaan skripsi.

Bandung, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| Abstrak..... | i |
| <i>Abstract</i> | iii |
| PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI..... | v |
| UCAPAN TERIMA KASIH..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| | |
| 1. BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.3. Pertanyaan Penelitian..... | 4 |
| 1.4. Tujuan Penelitian..... | 5 |
| 1.5. Manfaat Penelitian..... | 5 |
| 1.6. Ruang Lingkup Penelitian..... | 5 |
| 1.7. Kerangka Pemikiran..... | 6 |
| 1.8. Kerangka Penelitian..... | 6 |
| 1.9. Sistematika Penulisan..... | 7 |
| 1.10. Metodologi Penelitian..... | 7 |
| | |
| 2. BAB II KONSTRUKSI BAMBU BANGUNAN <i>DEPLOYABLE</i> DENGAN SISTEM PANTOGRAF..... | 11 |
| 2.1 <i>Deployable Structures</i> (Struktur <i>Deployable</i>)..... | 11 |
| 2.2 Struktur <i>Pantographic</i> | 13 |
| 2.2.1 Perkembangan Struktur Pantograf..... | 13 |
| 2.2.2 Tipe Struktur Pantograf..... | 15 |
| 2.2.3 <i>Pantographic Gridshell</i> | 16 |
| 2.3 Bambu sebagai struktur bangunan..... | 18 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.3.1 | Penggunaan Umum Material Bambu | 19 |
| 2.3.2 | Perumahan Bambu | 19 |
| 2.3.3 | Perumahan Domestik dan Bangunan Kecil..... | 20 |
| 2.3.4 | Keuntungan Material Bambu | 23 |
| 2.3.5 | Kekurangan Material Bambu | 23 |
| 2.4 | Potensi Bentuk Sistem Struktur Pantograf..... | 23 |
| 3. | BAB III METODE PENELITIAN..... | 25 |
| 3.1. | Pavillion PUC-RIO | 25 |
| 3.2. | Cimanggung Community Shelter..... | 27 |
| 3.3. | UPC..... | 29 |
| 4. | BAB IV ANALISIS OBJEK STUDI <i>PAVILION PUC-RIO, CIMANGGUNG COMMUNITY SHELTER & UPC</i> | 31 |
| 4.1. | Analisis Pavillion PUC – RIO..... | 31 |
| 4.2 | Analisis Cimanggung <i>Community Shelter</i> | 36 |
| 4.3 | Analisis UPC..... | 41 |
| 4.4 | Tabel Kesimpulan Objek Studi | 45 |
| 5. | BAB V ANALISA EKSERIMENTASI KONSTRUKSI PANTOGRAF BAMBU .47 | |
| 5.1. | Analisis Modul Pantograf | 47 |
| 5.1 | Analisis Potensi Pola Grid Pantograf..... | 50 |
| 5.2.1 | Studi Pola Modul Pantograf..... | 50 |
| 5.2.2 | Pengembangan Pola Modul Pantograf..... | 50 |
| 5.3. | Analisis Jenis Sambungan..... | 52 |
| 5.3.1 | Sambungan Mur-Baut | 52 |
| 5.3.2 | Sambungan Ikat | 53 |
| 5.3.3 | Perbandingan Jenis Sambungan..... | 54 |
| 5.4 | Analisis Potensi Bentuk | 60 |
| 5.4.1 | Potensi Bentuk 1..... | 61 |
| 5.4.2 | Potensi Bentuk 2..... | 66 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 5.4.3 | Potensi Bentuk 3 | 71 |
| 5.4.4 | Potensi Bentuk 4 | 76 |
| 5.4.5 | Potensi Bentuk 5 | 80 |
| 6. | BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | 87 |
| 6.1. | Kesimpulan | 87 |
| 6.2. | Saran | 88 |
| 6.2.1 | Untuk Arsitek / Perancang..... | 88 |
| | GLOSARIUM..... | 89 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 91 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1 Objek <i>deployable</i> | 2 |
| Gambar 1.2 Bambu Wulung (<i>Gigantochloa Atrovioalace</i>)..... | 3 |
| Gambar 2.1 Iris Dome | 10 |
| Gambar 2.2 Klasifikasi Gantes..... | 11 |
| Gambar 2.3 Konsep Dasar Pantograph..... | 12 |
| Gambar 2.4 Piñera’s Deployable Structure Design..... | 13 |
| Gambar 2.5 Escrig Pantographic Vault..... | 13 |
| Gambar 2.6 Escrig’s Spherical Lamella Grids..... | 14 |
| Gambar 2.7 Continous Forces in a Gridshell Elements | 14 |
| Gambar 2.8 Parameter Desain Bentuk Gridshell..... | 15 |
| Gambar 2.9 Penggunaan Material Bambu sebagai Lantai–Millenium Bridge- IBUKU | 17 |
| Gambar 2.10 Penggunaan Material Bambu sebagai Dinding–Pavilion Malaysia..... | 18 |
| Gambar 2.11 Penggunaan Material Bambu sebagai Atap–Bamboo Skyscraper Xiamen..... | 18 |
| Gambar 2.12 Perancah Bambu-Skyscraper Hongkong | 19 |
| Gambar 3.1 Pavilion PUC – RIO..... | 21 |
| Gambar 3.2 Model Maket Skala 1:1 | 21 |
| Gambar 3.3 Model Komputer..... | 21 |
| Gambar 3.4 Interior Pavilion PUC – RIO..... | 22 |
| Gambar 3.5 Pavilion PUC – RIO saat mengadakan acara kampus..... | 22 |
| Gambar 3.6 Cimanggung Community Centre..... | 23 |
| Gambar 3.7 Prototipe Skala 1:1 ketiga Model Struktur..... | 23 |
| Gambar 3.8 Konstruksi Struktur Atap Bambu..... | 23 |
| Gambar 3.9 Konstruksi Talang Air..... | 24 |
| Gambar 3.10 Konstruksi Fasad..... | 24 |
| Gambar 3.11 Rencana Tapak..... | 25 |
| Gambar 3.12 Proses Konstruksi Kolom Hypar..... | 26 |
| Gambar 3.13 Model Maket Berskala..... | 26 |
| Gambar 3.14 Model Komputer..... | 26 |
| Gambar 4.1 Modul Pantograf Pavilion PUC - RIO..... | 27 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.2 (a) Pola Modul Pantograf 1 (b) Pola Modul Pantograf 2 (c) Pola Modul Pantograf (d) Pola Modul Pantograf 4..... | 28 |
| Gambar 4.3 (a) Clove Hitch Knot (b) Penampang Ikatan (c) Ikatan Tengah Modul Bambu (d) Ikatan Ujung Bambu | 29 |
| Gambar 4.4 CAD 3D Bentuk Paviliun dan Denah Atap Struktur | 29 |
| Gambar 4.5 Maket Bentuk Bidang Struktur Pantograf dengan Membran..... | 30 |
| Gambar 4.6 Penyaluran Beban Transversal pada Bidang Atap, Balok dan Kolom..... | 30 |
| Gambar 4.7 Deployable Struktur Atap Paviliun PUC – RIO..... | 31 |
| Gambar 4.8 Pre-Determined Configuration & Closed Configuration..... | 31 |
| Gambar 4.9 Membran pada Bidang Struktur Pantograf Paviliun PUC - RIO..... | 31 |
| Gambar 4.10 Modul ‘X’, modul ‘C’ dan modul ‘V’..... | 32 |
| Gambar 4.11 Tiga modul pantograf CCS | 32 |
| Gambar 4.12 Pola Grid Pantograf pada Bangunan CCS..... | 33 |
| Gambar 4.13 Titik Sambungan Mur-Baut pada Modul ‘X’, ‘C’, & ‘V’..... | 34 |
| Gambar 4.14 Uji Coba Sambungan Mur-Baut pada Prototipe 1:1..... | 34 |
| Gambar 4.15 Bentuk Struktur Dinding Pantograf dan bangunan CCS..... | 35 |
| Gambar 4.16 Penyaluran Beban Aksial pada Struktur CCS..... | 35 |
| Gambar 4.17 Penyaluran Beban Lateral pada Struktur CCS..... | 35 |
| Gambar 4.18 Closed Configuration & Pre-Determined Configuration | 36 |
| Gambar 4.19 Elemen Pengkaku Tambahan Struktur CCS..... | 36 |
| Gambar 4.20 Isometri Posisi Batang Pengkaku Struktur CCS..... | 36 |
| Gambar 4.21 Pengembangan Struktur Pantograf pada Kolom Hypar UPC..... | 37 |
| Gambar 4.22 Jarak Titik Sambungan Pantograf pada Kolom UPC..... | 38 |
| Gambar 4.23 Sambungan Kolom UPC..... | 38 |
| Gambar 4.24 Maket Bentuk Kolom Hypar UPC..... | 39 |
| Gambar 4.25 Penyaluran Gaya Kolom Hypar UPC secara Transversal..... | 39 |
| Gambar 4.26 Penyaluran Gaya Kolom Hypar UPC secara Aksial..... | 40 |
| Gambar 4.27 Closed Configuration & Pre-Determined Configuration | 40 |
| Gambar 5.1 Dua Tipe Modul Pantograf Dasar..... | 43 |
| Gambar 5.2 Dua Macam Variasi Kombinasi Modul Pantograf Dasar..... | 43 |
| Gambar 5.3 Hasil Pengembangan Modul..... | 44 |
| Gambar 5.4 Titik Ekspansi Modul..... | 44 |
| Gambar 5.5 Module’s Deployability, (kiri) Closed Configuration, (kanan) Pre-Determined Configuration..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Gambar 5.6 Pola Dasar Konstruksi Pantograf dengan Grid Tartan..... | 45 |
| Gambar 5.7 Potensi Pergerakan pada Pola Modul Grid Tartan..... | 46 |
| Gambar 5.8 Potensi Ekspansi Modul..... | 46 |
| Gambar 5.9 Maket Percobaan Sambungan Mur-Baut..... | 47 |
| Gambar 5.10 Maket Percobaan Kemampuan Gerak Sambungan Mur-Baut..... | 47 |
| Gambar 5.11 Maket Sambungan Ikat Ganda..... | 48 |
| Gambar 5.12 Maket Sambungan Ikat Tunggal..... | 48 |
| Gambar 5.13 Pergerakan Sambungan Ikat Ganda..... | 49 |
| Gambar 5.14 Pergerakan Sambungan Ikat Tunggal..... | 49 |
| Gambar 5.15 Maket Modul dengan Sambungan Mur-Baut..... | 50 |
| Gambar 5.16 Fleksibilitas Gerak Modul dengan Sambungan Mur-Baut..... | 50 |
| Gambar 5.17 (a) Titik Sambungan Mur-Baut pada Ekspansi Pola Keatas, (b) Kemampuan Tekuk pada Sambungan Antar Modul, (c) Pre-Determined Configuration, (d) Closed Configuration..... | 50 |
| Gambar 5.18 (a) Titik Sambungan Mur-Baut pada Ekspansi pola kesamping, (b) Pre-Determined Configuration, (c) Closed Configuration, (d) Kemampuan Tekuk pada Sambungan Antar-Modul..... | 51 |
| Gambar 5.19 Sambungan Ikat Tunggal pada Maket..... | 52 |
| Gambar 5.20 Fleksibilitas Gerak Modul dengan Sambungan Ikat Tunggal..... | 52 |
| Gambar 5.21 (a) Titik Sambungan Ikat Tunggal pada Ekspansi Pola Kesamping, (b) Maket Sambungan Ikat Tunggal pada Pola Grid Tartan, (c) Closed Configuration, (d) Pre-Determined Configuration..... | 52 |
| Gambar 5.22 (a) Titik Sambungan Ikat Tunggal pada Ekspansi Pola Keatas, (b) Maket Sambungan Ikat Tunggal pada Pola Grid Tartan, (c) Closed Configuration, (d) Pre-Determined Configuration..... | 53 |
| Gambar 5.23 (a) Maket Ekspansi Pola Grid Tartan ke Bagian Atas Modul (b) Kemampuan Gerak / Tekuk Sambungan Ikat Tunggal, (c) Maket Ekspansi Pola Grid Tartan ke Bagian Samping, (d) Kemampuan Gerak / Tekuk Sambungan Ikat Tunggal..... | 53 |
| Gambar 5.24 Sambungan Ikat Ganda pada Maket sehingga saat Batang ditekuk atau digerakkan, Batang Tusuk Sate Melendut atau Bengkok..... | 54 |
| Gambar 5.25 Modul Dasar Pengembangan Bentuk..... | 55 |
| Gambar 5.26 Pola Grid Tartan pada Bentuk 1..... | 56 |
| Gambar 5.27 Titik-Titik Sambungan dengan Jenis Mur-Baut..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5.28 Sambungan Mur-Baut pada Maket Bentuk | 57 |
| Gambar 5.29 Titik-Titik Sambungan Ikat Tunggal pada Pola Bentuk 1..... | 57 |
| Gambar 5.30 Sambungan Ikat Tunggal pada Maket Bentuk 1..... | 57 |
| Gambar 5.31 Potensi Bentuk 1 dengan Jumlah Modul 6 dan 9..... | 58 |
| Gambar 5.32 Penyaluran Beban Bentuk 1..... | 59 |
| Gambar 5.33 Closed Configuration & Pre-Determined Configuration..... | 59 |
| Gambar 5.34 Batang Pengkaku pada Bentuk 1..... | 60 |
| Gambar 5.35 Pola Grid Tartan pada Bentuk 2..... | 61 |
| Gambar 5.36 Perbedaan Titik-Titik Sambungan dengan jenis Mur-Baut antara Pola Bentuk 1 (kiri) dengan Pola Bentuk 2 (kanan)..... | 61 |
| Gambar 5.37 Sambungan Mur-Baut pada Maket Bentuk 2 | 62 |
| Gambar 5.38 Titik-Titik Sambungan Ikat Tunggal pada Pola Bentuk 2..... | 62 |
| Gambar 5.39 Sambungan Ikat Tunggal pada Maket Bentuk 2..... | 62 |
| Gambar 5.40 Pengembangan Bentuk 2 dari Bentuk 1..... | 63 |
| Gambar 5.41 Penyaluran Beban Bentuk 2..... | 63 |
| Gambar 5.42 Closed Configuration & Pre-Determined Configuration..... | 64 |
| Gambar 5.43 Pola Grid Bentuk 3..... | 65 |
| Gambar 5.44 Titik-Titik Sambungan dengan jenis Mur-Baut | 65 |
| Gambar 5.45 Titik-Titik Sambungan Ikat Tunggal pada Pola Bentuk 3..... | 66 |
| Gambar 5.46 Sambungan Ikat Tunggal pada Maket Bentuk 3..... | 66 |
| Gambar 5.47 Pengembangan Bentuk 3 dari Bentuk 1..... | 67 |
| Gambar 5.48 Penyaluran Beban Bentuk 3..... | 67 |
| Gambar 5.49 Closed Configuration & Pre-Determined Configuration..... | 68 |
| Gambar 5.50 Elemen Pengkaku pada Bentuk 3..... | 68 |
| Gambar 5.51 Pola Grid Bentuk 4..... | 69 |
| Gambar 5.52 Titik-Titik Sambungan Ikat Tunggal pada Pola Bentuk 4..... | 70 |
| Gambar 5.53 Sambungan Ikat Tunggal pada Maket Bentuk 4..... | 70 |
| Gambar 5.54 Maket Bentuk 4..... | 71 |
| Gambar 5.55 Penyaluran Beban Bentuk 4..... | 71 |
| Gambar 5.56 Dua Macam Tahapan Closed Configuration..... | 72 |
| Gambar 5.57 Pre-Determined Configuration Bentuk 4..... | 72 |
| Gambar 5.58 (a) Elemen Pengkaku Vertikal Bentuk 4 (b) Elemen Pengkaku Horizontal Bentuk 4..... | 72 |
| Gambar 5.59 Pola Grid Bentuk 5..... | 73 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5.60 Titik-Titik Sambungan Ikat Tunggal pada Pola Bentuk 5..... | 74 |
| Gambar 5.61 Maket Bentuk 5..... | 75 |
| Gambar 5.62 Penyaluran Beban pada Bentuk 5..... | 75 |
| Gambar 5.63 Pre-Determined dan Closed Configuration Bentuk 5..... | 76 |
| Gambar 5.64 (a) Elemen Pengkaku Vertikal Bentuk 5..... | 76 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 4.1. | Evaluasi hasil analisis objek studi..... | 46 |
| Tabel 5.1. | Kesimpulan hasil eksperimen..... | 86 |

BAB I

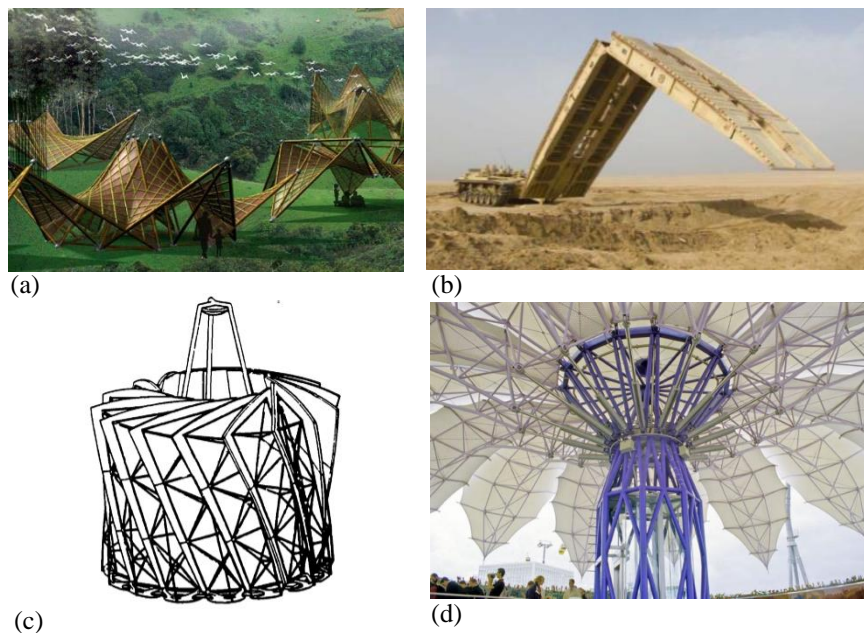
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fenomena pemanasan global sedang menjadi isu penting bagi keberlangsungan hidup dan lingkungan di masa depan. Dengan banyaknya ekstraksi sumber daya secara besar-besaran pada alam, memberi pengaruh pada kapabilitas alam untuk menampung polusi dan sampah-sampah yang diabaikan dari proses ekstraksi tersebut. Sebesar 40% emisi karbon yang dihasilkan merupakan tanggung jawab sektor infrastruktur atau bangunan. Material seperti beton dan baja yang sangat umum digunakan sangatlah tidak berkelanjutan (*sustainable*) mulai dari proses ekstraksi yang menggunakan alat berat dan mesin-mesin yang mengonsumsi energy tinggi serta memberi dampak buruk pada situs penggalian / pengeboran / ekstraksi, lalu proses mengangkut dan proses manufaktur barang mentah pabrik yang juga mengonsumsi banyak energy dan mengeluarkan emisi karbon serta proses pemakaian material pada bangunan dengan jangka pakai tertentu akan selalu menghasilkan emisi karbon. Material seperti beton dan baja konvensional juga jarang sekali digunakan kembali setelah masa pakai bangunan habis sehingga menambah sampah industrial dan pembongkaran bangunan. Oleh karena itu, sebuah inovasi bangunan berkelanjutan yang memiliki sifat *deployable* dikembangkan pada bidang arsitektur yang memungkinkan sebuah bangunan untuk dapat digunakan berulang-ulang kali sehingga menghemat penggunaan material, bangunan *deployable* memiliki struktur dengan mekanisme gerak dimana struktur dapat menyesuaikan ukuran dan ruang sesuai dengan kebutuhan.

Struktur gerak (*motion structures*) merupakan rakitan komponen struktur yang dihubungkan oleh sambungan engsel sehingga memiliki kemampuan bergerak. Tidak seperti struktur konvensional pada umumnya, struktur gerak memungkinkan transformasi bentuk yang besar agar dapat memberi kepraktisan tinggi sehingga pada umumnya aplikasi struktur gerak banyak ditemukan mulai dari barang-barang rumah tangga seperti payung dan kursi lipat ke panel surya pada transportasi luar angkasa seperti *Hubble Space Telescope Solar Panel* (Cawsey, 1982), lalu atap yang bisa dibuka dan ditutup (*retractable*), dan objek-objek lain yang mampu mengalami perubahan bentuk besar. Keunggulan penggunaan struktur *deployable* adalah tingkat kepraktisan yang sangat tinggi dalam transportasi atau penyimpanan struktur dan konstruksi, akan tetapi pada beberapa objek seperti atap yang dapat dibuka tutup, aplikasi struktur *deployable* memberi

pengaruh besar pada penyediaan cakupan bentangan atap yang cepat atau instan untuk mewujudkan fungsi bangunan yang diinginkan. Kategori struktur *deployable* pada dasarnya adalah mengenai mekanisme yang memanfaatkan prinsip-prinsip kinematik dan geometris dalam desain struktur tersebut. Pada umumnya bangunan dengan struktur *deployable* bersifat sementara atau temporer dan dapat digunakan berulang kali seperti; *shelter* darurat, jembatan, atap konvertibel, struktur pameran, gudang, hangar, rumah kaca, dan struktur pada objek atau transportasi yang digunakan di luar angkasa.



Gambar 1.1 (a) *Folding House – emergency shelter* (Sumber: *inhabitat.com*, 2018), (b) *Jembatan deployable* (Sumber: *ATA Engineering*), (c) *FIRST Antenna* (Sumber: *Specht, 1990*), (d) *Atap konvertibel* (Sumber: *SMiA*).

Struktur *deployable* memiliki kemampuan untuk menyesuaikan bentuknya dengan kondisi lingkungan eksternal. Perkembangan struktur *deployable* bermula dari penelitian biologis pada objek-objek alam seperti pada sayap serangga, sarang lebah dan beberapa morfologi daun tanaman dijadikan contoh sebagai struktur yang dapat dilipat (*deployable*). Dengan mempelajari morfologi biologi dan potensinya untuk diaplikasikan dalam sistem struktural buatan manusia. Struktur *deployable* memiliki berbagai keuntungan. Bentuk dan konstruksi struktur dapat sewaktu-waktu diubah, bangunan dapat digunakan kembali, mudah disimpan dan dipasangkan kembali. Sistem struktur *deployable* mampu mengurangi waktu kerja di lokasi pemasangan dan dapat diproduksi di pabrik-pabrik pada umumnya. Struktur dapat dikerjakan dengan keterampilan minim dan peralatan minim untuk pemasangan dan pembongkaran di lokasi konstruksi. Struktur *deployable* juga meningkatkan keamanan saat proses konstruksi dengan meminimalkan atau

menghilangkan kebutuhan untuk penggunaan perancah sehingga dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan. Salah satu klasifikasi struktur *deployable* adalah struktur gunting (*scissors-like*) atau pantograf (*pantographic structures*). Struktur pantograf dasar merupakan struktur dengan elemen garis yang kemudian diduplikasikan dan membentuk sebuah bidang struktur.

Untuk merancang dan merakit struktur konstruksi dengan sistem pantograf, diperlukan material bangunan dengan beban material yang ringan, memiliki daya tarik dan tekan yang kuat dan umumnya menggunakan material dengan ukuran yang kecil. Perkembangan struktur dan konstruksi pantograf banyak menggunakan material baja, kayu dan kabel yang dipengaruhi oleh revolusi industri zaman itu, akan tetapi seiring perkembangannya zaman, material seperti kayu dan baja tidak memiliki sifat berkelanjutan (*sustainable*) karena proses ekstraksi dan produksi baja yang menghasilkan polusi dan emisi karbon yang sangat besar, serta sulitnya mencari material kayu yang berkualitas dengan sertifikasi yang sah mengakibatkan penggunaan kedua material tersebut tidak ekonomis dan memberi efek buruk pada lingkungan. Oleh karena itu, munculnya sebuah urgensi material bangunan yang memenuhi persyaratan seperti konsumsi energi yang rendah dalam produksinya dan penggunaannya, konservasi sumber daya alam, pengurangan polusi dan pemeliharaan kesehatan bagi pengguna dan lingkungan sekitar.

Bambu merupakan salah satu material alternatif sebagai bahan bangunan yang sejak dulu telah digunakan oleh suku-suku yang menetap di wilayah tropis seperti Cina, Korea, Jepang, Cina dan Indonesia. Penggunaan bambu sebagai bahan bangunan di Jawa dan Bali hampir 30%, sementara di Indonesia penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi hampir mencapai 80 %, dan 20% selebihnya digunakan untuk bahan-bahan non-konstruksi. Dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa bambu merupakan bahan bangunan termurah dibanding bahan-bahan lain seperti batu bata, beton, kayu dan baja, serta menggunakan energi paling kecil dalam proses penggunaannya.



Gambar 1.2 Bambu Wulung (*Gigantochloa atrovioalace*)
(Sumber: *Google Images*,2018)

Bambu juga memiliki potensi ekonomi yang tinggi, karena untuk mencapai pertumbuhan tahap tertentu hanya dibutuhkan beberapa bulan. Oleh karena isu pemanasan global dan berkembangnya inovasi-inovasi bangunan berkelanjutan (*sustainable building*), bambu sebagai material konstruksi sedang ramai dipelajari dan dikembangkan. Bentuknya yang silindrikal, kekuatan tarik dan beban material bambu yang tergolong ringan cocok untuk pengaplikasian sistem *deployable* yang memungkinkan sebuah struktur untuk dilipat, disimpan, dipindah dan dikonstruksikan kembali. Oleh karena itu material bambu yang sedang populer sebagai salah satu material alternatif untuk penggunaan baja dan kayu memiliki potensi yang besar untuk dieksplorasi lebih dalam dengan sistem pantograf pada struktur dan konstruksi yang sifatnya *deployable*.

1.2. Rumusan Masalah

Bangunan *deployable* dengan struktur pantograf pada umumnya menggunakan baja dan kayu sebagai material struktur dan konstruksinya akan tetapi material tersebut tidak berkelanjutan akibat polutan yang dihasilkan dari proses ekstraksi bahan mentah dan kelangkaan material tersebut. Bambu merupakan sebuah material yang memiliki karakteristik yang sama dengan baja dan kayu tetapi memiliki nilai keberlanjutan yang lebih tinggi sehingga cocok dijadikan material pada bangunan *deployable* dengan struktur pantograf yang memiliki banyak potensi untuk dikembangkan.

1.3. Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana evaluasi desain modul, pola dan sambungan struktur dan konstruksi bambu dengan sistem pantograf pada objek:
 - a. Pavilion PUC-RIO?
 - b. Cimanggung Community Shelter?
 - c. UPC?
2. Bagaimana pengembangan desain konstruksi bambu dengan sistem pantograf dengan eksperimentasi pada:
 - Modul Pantograf?
 - Pola Pantograf?
 - Jenis Sambungan Pantograf?

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan proses eksperimentasi yang berbasis pada metode *learning through design* dengan tujuan untuk mengetahui potensi dan pengembangan struktur *deployable bamboo* dengan sistem pantograf. Dengan dasar objek *Pavillion PUC-RIO*, Cimanggung *Community Shelter & UPC* dapat diperoleh keunggulan dan kelemahan sistem struktur bambu pantograf dengan aplikasi yang berbeda. Melalui analisis ketiga objek tersebut yang dijadikan basis untuk memperoleh pengembangan desain bambu pantograf.

1.5. Manfaat Penelitian

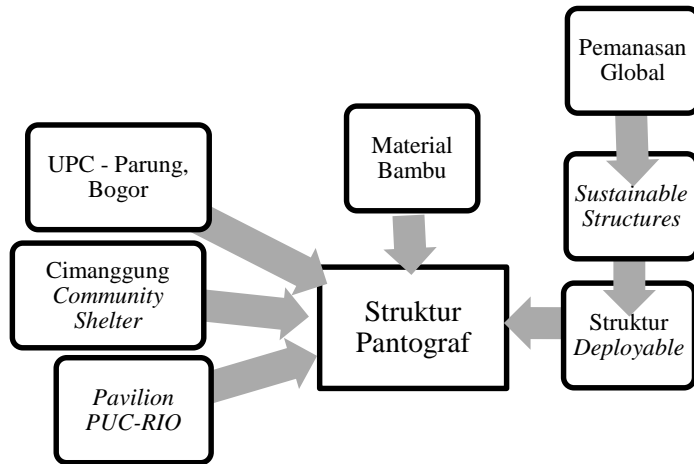
- a. Menambah wawasan mengenai teknik struktur bambu *deployable* dan pengaplikasiannya pada bangunan dengan optimal
- b. Menambah wawasan mengenai sistem struktur pantograf pada material bambu dan pengaplikasiannya pada bangunan dengan optimal
- c. Menambah potensi material bambu sebagai material bangunan yang berkelanjutan untuk menghasilkan struktur yang inovatif dan kreatif.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

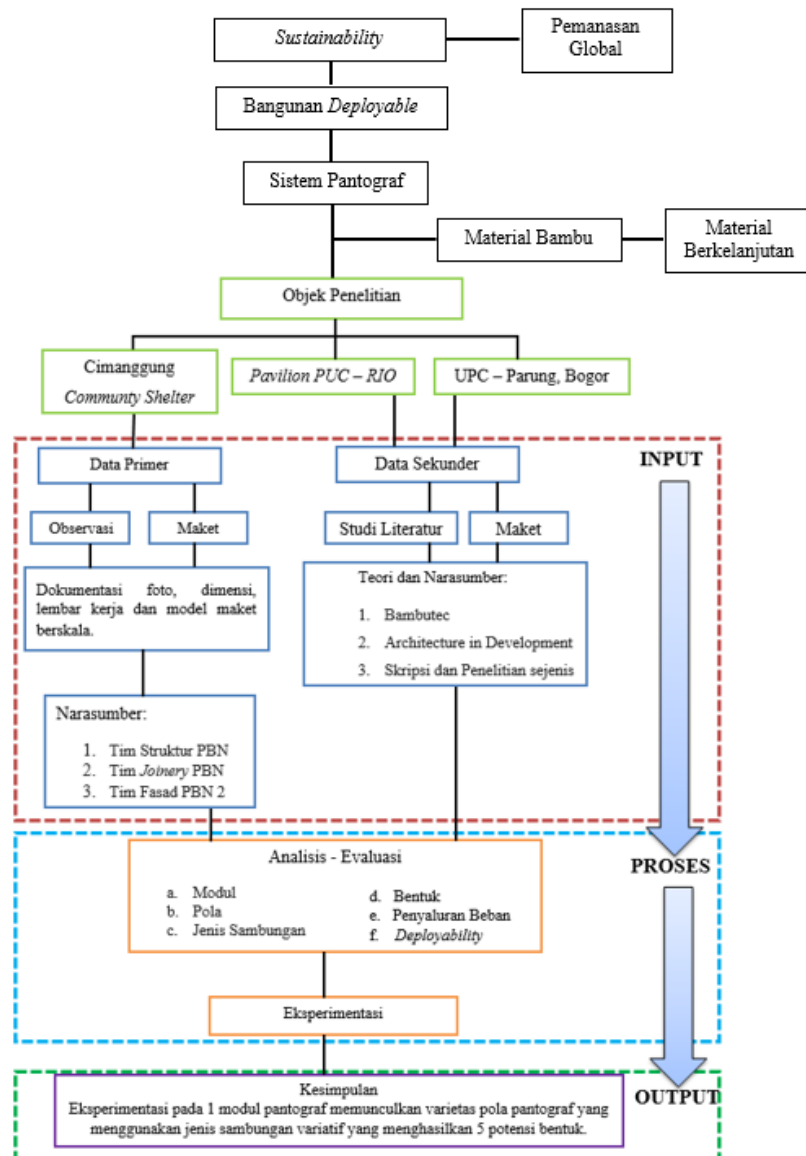
Penelitian struktur dan konstruksi pantograf bambu akan difokuskan pada analisa dari ketiga objek studi yaitu *Pavillion PUC-RIO*, Cimanggung *Community Shelter* dan *UPC Bogor*. Ketiga objek ditinjau dari modul dasar, pola grid struktur, jenis sambungan, bentuk struktur, penyaluran beban dan *deployability* struktur serta pengaplikasian sistem pantograf pada struktur bambu masing-masing bangunan. Berikut adalah hal-hal yang akan diteliti berdasarkan batasan-batasannya:

- a. Aplikasi struktur bambu pantograf pada elemen struktur bidang atap lengkung, bidang vertikal dinding dan bidang vertikal kolom, yang ditinjau dari modul, pola grid, jenis sambungan, bentuk, penyaluran beban, dan tingkat *deployability* struktur.
- b. Hasil analisa deskriptif ketiga objek studi kemudian menghasilkan kesimpulan serta potensi pengembangan struktur bambu yang *deployable* dan mendapatkan potensi desain bentuk struktur bambu dengan sistem pantograf yang lebih optimal.

1.7. Kerangka Pemikiran



1.8. Kerangka Penelitian



1.9. Sistematika Penulisan

Bab I – Pendahuluan berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, objek penelitian, ruang lingkup penelitian, kerangka pemikiran, kerangka penelitian, sistematika penulisan dan metodologi penelitian.

Bab II – Kerangka Dasar Teori berisikan teori-teori dasar yang digunakan pada tahap analisis. Bagian pertama berisi mengenai sistem struktur *pantographic gridshell* yang terdiri dari sejarah perkembangan sistem struktur tersebut. Bagian kedua berisikan teori-teori sejarah dan perkembangan bambu sebagai bahan bangunan dan struktur bangunan serta penggunaan bambu sebagai elemen konstruksi dan penjabaran teori kelebihan dan kekurangan penggunaan bambu sebagai material bangunan.

Bab III – Data Objek Studi berisikan informasi-informasi mengenai ketiga objek studi yang dijabarkan dengan detail beserta data-data latar belakang bangunan dan sejarah berdirinya bangunan tersebut.

Bab IV – Analisa Komparatif Objek Studi berisi mengenai penjabaran ketiga objek studi secara bersamaan sesuai dengan faktor analisis yang kemudian menghasilkan sebuah kesimpulan per objek studi dan kesimpulan tiap faktor analisis yang disandingkan ketiga objek studi tersebut.

Bab V - Analisis Eksperimen berisi mengenai proses pengembangan potensi struktur bambu dengan sistem *pantographic* dari proses tahap uji coba menggunakan maket studi berskala yang kemudian dilanjutkan pada tahap uji coba dengan skala 1:1. Bab ini menjabarkan secara rinci seluruh proses eksperimen dari awal mula sampai tahap akhir yang berisikan analisis serta dokumentasi hasil eksperimen.

Bab VI – Penutup berisi mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian mengenai analisis struktur bambu dengan aplikasi elemen structural yang berbeda-beda serta pengembangan struktur bambu dari hasil analisa objek *Pavillion PUC-RIO*, *Cimanggung Community Shelter* dan *UPC*.

1.10. Metodologi Penelitian

1.10.1. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian analisis – deskriptif dengan pendekatan evaluatif. Penelitian bersifat deskriptif bertujuan untuk membuat hasil analisa lebih sistematis, faktual dan akurat sesuai dengan objek studi yang sebenarnya dan juga dapat menjabarkan serta mengambil kesimpulan dari ketiga objek studi dengan rapih dan sesuai faktor analisis. Sedangkan

pendekatan evaluatif dimaksudkan untuk dapat merangkum analisa ketiga objek dan digunakan untuk menilai kelebihan dan kekurangan masing-masing objek studi yang nantinya hasil rangkuman analisis tersebut digunakan sebagai dasar eksperimentasi penelitian untuk mendapatkan potensi pengembangan dari struktur pantograf dengan material bambu yang bersifat *deployable*.

1.10.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian : Universitas Katolik Parahyangan

Jangka Waktu Penelitian : Februari 2018 s.d. Mei 2018

1.10.3. Teknik Pengumpulan Data

a. Objek studi Pavillion PUC-RIO

Data literatur yang digunakan untuk analisis komparatif menggunakan data sekunder yang didapat dari website arsitek, *conference paper* dan jurnal penelitian Universitas PUC – RIO. Beberapa data juga didapat dari komunikasi melalui email kepada salah satu arsitek *Pavillion PUC-RIO* tersebut. Selain data literatur, uji coba sistem struktur dengan menggunakan model maket dengan skala 1:50 dilakukan untuk mendapatkan akurasi data pada elemen analisis tertentu.

b. Objek Studi Cimanggung *Community Shelter*

Data yang digunakan untuk analisis komparatif menggunakan data primer yang didapat dari survei observasi dan pengamatan pada objek studi. Adapun pengambilan data lapangan secara langsung karena penulis terlibat dalam proses mendesain dan konstruksi bangunan tersebut. Selain data primer yang didapat di lapangan, digunakan juga model maket struktur dengan skala 1:20 untuk beberapa elemen analisa yang membutuhkan data perbandingan yang lebih konkrit.

c. Objek Studi UPC

Data yang digunakan untuk analisis komparatif menggunakan data literature sekunder yang didapat dari konsultan dan arsitek bangunan UPC serta data literatur alumni yang meneliti objek yang bersangkutan. Model maket

berskala juga dibuat untuk mendapatkan perbandingan data pada elemen-elemen analisa tertentu.

1.10.4. Teknik Analisis – Deskriptif

Teknik analisis-komparatif data berdasarkan faktor-faktor berikut:

- Modul pantograf dasar
- Pola grid modul pantograf
- Jenis sambungan
- Bentuk
- Penyaluran beban (aksial dan lateral)
- Deployability - closed & pre-determined configuration

1.10.5. Teknik Pengembangan Eksperimen

Proses eksperimen menggunakan model maket berskala 1:25 yang kemudian akan melewati tahap uji coba fleksibilitas gerak dan analisa struktur .

