

**SKRIPSI 46**

**EKSPLORASI KONSTRUKSI BAMBU  
*RECIPROCAL-DEPLOYABLE*  
PADA SISTEM STRUKTUR *GRIDSHELL***



**NAMA : CHARNELE  
NPM : 2015420088**

**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  
2019**

**SKRIPSI 46**

**EKSPLORASI KONSTRUKSI BAMBU  
*RECIPROCAL-DEPLOYABLE*  
PADA SISTEM STRUKTUR *GRIDSHELL***



**NAMA : CHARNELE  
NPM : 2015420088**

**PEMBIMBING:**

**ANASTASIA MAURINA, ST., MT.**

**PENGUJI :  
LAURENTIA CARRISA, ST., MT.  
DR. IR. ALWIN S. SOMBU, MSE**

**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  
2019**

## **PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN SKRIPSI**

### ***(Declaration of Authorship)***

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Charnele  
NPM : 2015420088  
Alamat : Jalan Gegerkalong Hilir no.61A, Bandung  
Judul Skripsi : Eksplorasi Konstruksi Bambu *Reciprocal-deployable* pada Sistem Struktur Gridshell

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/memalsukan data atau tindakan sejenisnya, tindakan Plagiarisme atau Autoplagerisme, maka saya bersedia menerima seluruh konsekuensi hukum sesuai ketentuan yang berlaku.

Bandung, 22 Mei 2019

( Charnele )

## Abstrak

# EKSPLORASI KONSTRUKSI BAMBU *RECIPROCAL-DEPLOYABLE* PADA SISTEM STRUKTUR GRIDSHELL

Charnele  
NPM: 2015420088

Adanya keterbutuhan akan naungan semi-permanen atau sementara yang mudah dan cepat dibangun untuk sesuatu peristiwa tertentu. Pada penelitian ini menggali potensi struktur bentang lebar transformatif dengan menggabungkan dan mengembangkan sistem struktur konstruksi *deployable* dan *reciprocal* dalam bentuk struktur atap bidang *gridshell* bambu, menjadi sebuah konfigurasi mandiri tersusun dari variasi komposisi modul dengan bantuan komputasional mengikuti kebutuhan desain arsitektur. Hal ini dilakukan dengan mengetahui potensi sistem struktur, pola desain, dan sistem sambungan pada beberapa objek studi yang dievaluasi secara kualitatif dengan metode komparasi pada sistem struktur, sambungan, karakter batang, penyaluran beban, sistem penguncian struktur, dan *deployability*.

Manfaat penelitian berfokus pada penelitian struktur bambu untuk menjadi inovasi baru dalam keteknikan material bambu yang dapat meningkatkan nilai lokalitas Indonesia dengan dapat digunakan masyarakat terutama dalam menggunakan material bambu untuk pengembangan naungan sementara maupun permanen.

Pembahasan mengenai kriteria sistem struktur sesuai tujuan penelitian merupakan hasil dari analisa objek studi dimana struktur transformasi berdasarkan karakter struktur *deployable* sedangkan struktur *reciprocal* merupakan sistem yang menyokong untuk memberikan kestabilan dan sistem penguncian mandiri. Kedua struktur ini merupakan sistem struktur yang fleksible dan mudah diduplikasi sehingga untuk memenuhi fungsi sebagai struktur bentang lebar, sistem struktur didesain membentuk *gridshell*. Bentuk *gridshell* ini yang diolah dengan bantuan komputasional untuk membentuk sistem struktur *reciprocal-deployable* secara efektif.

Penelitian yang bersifat eksplorasi, eksperimen dilakukan pada pola *reciprocal* hingga menemukan pola paling stabil dan mengubah karakter batang lurus pada *reciprocal* menjadi batang *deployable* berupa *scissor-like element*, lalu mengembangkan jenis sambungan dengan analisa potensi dan kendala tiap sambungan. Eksperimen menghasilkan sistem struktur baru dengan menggabungkan kedua sistem struktur didapatkan struktur yang dapat bertransformasi, memiliki sistem penguncian mandiri, dan dapat membentang lebar dengan bentuk *gridshell*.

**Kata-kata kunci:** *reciprocal*, *deployable*, bidang lengkung, *gridshell*, transformatif

## **Abstract**

### **CONSTRUCTION EXPLORATION OF RECIPROCAL-DEPLOYABLE BAMBOO IN GRIDHELL STRUCTURE SYSTEM**

**Charnele**  
**NPM: 2015420088**

*Existence of the need for a semi-permanent or temporary shelters that are easily and quickly built for certain events, for this reason this study explored the potential of transformative wide-span structures with the development and development of usable and reciprocal structural systems in the form of bamboo gridshell roof structures, into an independent arrangement composed of configuration modules with computational assistance according to architectural design needs. This is done by knowing the adequate potential of structural systems, design patterns, and connection systems in several study objects that are evaluated by comparative methods on system structure, connections, trunk character, distribution load, structure locking system, and application.*

*The benefits of research on bamboo research for new materials in the engineering of bamboo materials that can increase the value of Indonesian locality by being able to be used by the community are needed in using bamboo materials for the development of permanent shade.*

*In result, discussion of the criteria for structural systems according to research objectives analysis of the objects of the study where transformation structures based on character structures that can be used as reciprocal structures are supporting systems to provide stability and an independent locking system. both of these structures are flexible and easily duplicated structural systems so that according to the wide span structure, the structural system is designed to make a gridshell. this gridshell form is processed with computational help to effectively create reciprocal-deployable structure systems.*

*The research was explored, experiments were carried out on reciprocal patterns to find the most stable patterns and change the character of straight rods into reciprocal rods that could be deployed using elements such as scissors, which then developed the connection type with potential analyzers and displacement of each connection. The experiment produced a new structural system by collecting the second structural system obtained by a structure that can be transformed, has an independent locking system, and can stretch wide with a gridshell shape.*

**Keywords :** *reciprocal, deployable, dome, gridshell, transformable*

## **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 seijin 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 ,S.T. atas saran, pengarahan, dan masukan yang telah diberikan serta berbagai ilmu yang berharga.
- Ketua kelompok sidang, Bapak Dr. Ir. Kamal Abdullah Arif, MSA. atas masukan yang diberikan.
- Dosen penguji, Ibu Laurentia Carrisa, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Alwin S. Sombu, MSE. atas masukan dan bimbingan yang diberikan.
- Bapak Dani Hermawan, S.T., M.Arch. atas masukan dan bimbingan yang diberikan.
- Bapak Altho Sagara, S.T., M.T. dan Octavianus Ega, S.T. yang telah membantu dalam analisa kekuatan sistem struktur.
- Tim Arunika Waldrof dan Bapak Gosha Muhammad ,S.T. ,M.Arch. selaku arsitek yang telah bersedia untuk mengizinkan menggunakan desain aula Arunika sebagai bahan studi skripsi.
- Orang tua yang telah mendukung, menyemangati dan mendoakan selama proses pengerjaan skripsi.
- Dan yang terakhir namun tidak kalah pentingnya, teman-teman seperjuangan yang mendukung pengerjaan skripsi.

Bandung, Mei 2019

Charnele

## DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| Abstrak.....                                     | i         |
| <i>Abstract</i> .....                            | iii       |
| PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI.....                  | v         |
| UCAPAN TERIMA KASIH.....                         | .vii      |
| DAFTAR ISI.....                                  | ix        |
| DAFTAR GAMBAR.....                               | xiii      |
| DAFTAR TABEL.....                                | xvii      |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>                    | <b>1</b>  |
| 1.1. Latar Belakang.....                         | 1         |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                        | 11        |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....                      | 12        |
| 1.4. Manfaat Penelitian.....                     | 12        |
| 1.5. Kerangka Penelitian.....                    | 13        |
| 1.6. Metodologi Penelitian.....                  | 14        |
| 1.6.1. Jenis Penelitian.....                     | 14        |
| 1.6.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....          | 14        |
| 1.6.3. Teknik Pengumpulan Data.....              | 15        |
| 1.6.4. Teknik Analisa.....                       | 15        |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>               | <b>16</b> |
| 2.1. Bambu.....                                  | 16        |
| 2.2. Reciprocal.....                             | 17        |
| 2.2.1. Pengertian <i>Reciprocal</i> .....        | 18        |
| 2.2.2. Morfologi <i>Reciprocal</i> .....         | 18        |
| 2.2.3. Geometri <i>Reciprocal</i> .....          | 20        |
| 2.2.4. Perilaku Struktur <i>Reciprocal</i> ..... | 22        |
| 2.3. Deployable.....                             | 23        |
| 2.3.1. Pengertian <i>Deployable</i> .....        | 23        |
| 2.3.2. Morfologi <i>Deployable</i> .....         | 24        |
| 2.3.3. Metode <i>Deployable</i> .....            | 26        |
| 2.3.4. Perilaku Struktur <i>Deployable</i> ..... | 30        |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.4. Gridshell.....   | 31        |
| 2.4.1. Pengertian <i>Gridshell</i> .....                          | 31        |
| 2.4.2. Konfigurasi <i>Gridshell</i> .....                         | 33        |
| 2.4.3. Perilaku Struktur <i>Gridshell</i> .....                   | 36        |
| 2.5. Komputasional .....  | 37        |
| 2.6. Kerangka Teori .....   | 40        |
| <b>BAB 3 ANALISA OBJEK STUDI .....</b>                            | <b>41</b> |
| 3.1. Objek Studi Struktur Reciprocal Deployable.....              | 41        |
| 3.1.1. Skripsi oleh Bernadette .....                              | 41        |
| 3.1.2. Skripsi oleh Yosafat .....                                 | 43        |
| 3.2. Objek Studi Struktur Reciprocal Gridshell .....              | 45        |
| 3.2.1. Da Vinci Dome.....   | 45        |
| 3.2.2. KREOD Pavillion.....                                       | 46        |
| 3.3. Objek Studi Struktur Deployable Gridshell .....              | 48        |
| 3.3.1. Pavillion PUC-Rio.....                                     | 48        |
| 3.3.2. Skripsi oleh Ellen Gohtami .....                           | 50        |
| 3.4. Objek Studi Struktur Reciprocal Deployable Gridshell .....   | 52        |
| 3.4.1. SmiA Eksperimen .....                                      | 52        |
| 3.4.2. PentaRec – SMiA Eksperimen.....                            | 54        |
| 3.5. Kesimpulan Analisa Objek Studi .....                         | 56        |
| 3.5.1. Potensi dan Kendala .....                                  | 56        |
| 3.5.2. Kriteria Struktur .....                                    | 58        |
| <b>BAB 4 SINTESA PENELITIAN .....</b>                             | <b>59</b> |
| 4.1. Proses Perancangan.....                                      | 59        |
| 4.1.1. Proses Perancangan Maket.....                              | 60        |
| 4.1.2. Proses Pembuatan Maket Besar .....                         | 63        |
| 4.2. Analisa Sambungan pada Sistem Konstruksi.....                | 68        |
| 4.2.1. Percobaan Sambungan <i>Reciprocal</i> .....                | 68        |
| 4.2.2. Percobaan Sambungan pada <i>Scissor-like Element</i> ..... | 72        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BAB 5 EKSPLORASI DESAIN.....</b>                                    | <b>74</b> |
| 5.1. Eksplorasi pada Bentuk Kubah Sederhana .....                      | 74        |
| 5.1.1. Pengertian Bentuk.....  | 74        |
| 5.1.2. Penerapan Sistem Struktur dengan Pendekatan Komputasional... .. | 75        |
| 5.1.3. Analisa Sistem Struktur .....                                   | 79        |
| 5.1.4. Analisa Kekuatan Struktur.....                                  | 79        |
| 5.2. Eksplorasi pada Bentuk Kompleks Studi Kasus Arunika.....          | 88        |
| 5.2.1. Penjelasan Bentuk.....  | 88        |
| 5.2.2. Pengertian Sistem Struktur dengan Pendekatan Komputasional ..   | 88        |
| <b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                | <b>96</b> |
| 6.1. Kesimpulan .....  | 96        |
| 6.2. Saran .....   | 97        |
| 6.3. Potensi Pengembangan Penelitian .....                             | 97        |
| <br>GLOSARIUM.....   | <br>99    |
| DAFTAR PUSTAKA.....  | 101       |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1 Perbandingan Pertumbuhan Bambu dengan Kayu.....                                | 1  |
| Gambar 1.2 Potensi Penggunaan Material Bambu sebagai Bahan Bangunan .....                 | 2  |
| Gambar 1.3 Contoh Konfigurasi Struktur Deployable : .....                                 | 3  |
| Gambar 1.4 Gridshell oleh Vladimir Shukhov .....  | 4  |
| Gambar 1.5 Struktur Atap <i>Reciprocal</i> pada Villard de Honnecourt.....                | 5  |
| Gambar 1.6 Struktur Reciprocal Grid-shell .....   | 6  |
| Gambar 1.7 Struktur Bidang Atap Lengkung <i>Reciprocal</i> .....                          | 6  |
| Gambar 1.8 Contoh Eksplorasi Konfigurasi <i>Reciprocal</i> .....                          | 8  |
| Gambar 1.9 Perencanaan Sekolah Arunika Waldorf .....                                      | 10 |
| Gambar 2.1 Anatomi Bambu .....  | 16 |
| Gambar 2.2 Susunan <i>Reciprocal</i> searah jarum jam (A) dan berlawanan jarum jam (B)..  | 19 |
| Gambar 2.3 Pola Duplikasi Struktur <i>Reciprocal</i> .....                                | 20 |
| Gambar 2.4 Potensi Bentuk Gridshell dari Konstruksi <i>Reciprocal</i> .....               | 20 |
| Gambar 2.5 Contoh Konfigurasi Reciprocal.....   | 21 |
| Gambar 2.6 Morfologi Struktur <i>Reciprocal</i> .....                                     | 21 |
| Gambar 2.7 Diagram <i>reciprocal</i> denah(kiri) dan tampak(kanan).....                   | 22 |
| Gambar 2.8 Diagram tarik-tekan .....  | 22 |
| Gambar 2.9 Diagram momen.....   | 23 |
| Gambar 2.10 Konfigurasi Struktur <i>Deployable</i> .....                                  | 24 |
| Gambar 2.11 Diagram sistem <i>deployable</i> dengan perbedaan eksentrisitas sambungan ... | 24 |
| Gambar 2.12 Morfologi Lengkung pada struktur <i>deployable</i> .....                      | 25 |
| Gambar 2.13 Diagram Perhitungan Letak Eksentrisitas .....                                 | 26 |
| Gambar 2.14 Contoh Sistem Struktur Rangka <i>Deployable</i> .....                         | 26 |
| Gambar 2.15 Pola Prinsip SLE .....  | 27 |
| Gambar 2.16 Contoh Konstruksi Payung .....  | 28 |
| Gambar 2.17 Elemen Struktur Payung .....  | 28 |
| Gambar 2.18 Contoh Mekanisme Strut.....   | 28 |
| Gambar 2.19 Contoh Pnuematic Struktur .....   | 29 |
| Gambar 2.20 Contoh Folded Deployable .....  | 29 |
| Gambar 2.21 Perilaku elemen batang pada struktur <i>deployable</i> .....                  | 30 |
| Gambar 2.22 Downland Gridshell Building, UK,2002.....                                     | 32 |
| Gambar 2.23 Prinsip Perbedaan Geometri Shell dengan Gridshell .....                       | 32 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.24 Prinsip Pengolahan Bentuk Gridshell.....   | 32 |
| Gambar 2.25 Klasifikasi Struktur Lengkung .....  | 33 |
| Gambar 2.26 Model <i>barrel</i> .....  | 34 |
| Gambar 2.27 Model konoid .....   | 34 |
| Gambar 2.28 Model kubah.....   | 35 |
| Gambar 2.29 Struktur <i>gridshell</i> icosahedron(kiri), Struktur geodesic(kanan) .....          | 35 |
| Gambar 2.30 Model hiperboloid paraboloid .....   | 36 |
| Gambar 2.31 Diagram perilaku gaya tarik-tekan pada Gridshell.....                                | 36 |
| Gambar 2.32 Membentuk desain bidang awal (a) .....   | 38 |
| Gambar 2.33 Komputasional jaringan menjadi konfigurasi <i>reciprocal</i> (b) .....               | 39 |
| Gambar 2.34 Bentuk <i>reciprocal</i> hasil komputasional.....                                    | 39 |
| Gambar 2.35 Pengolahan komputasional mengatur dimensi dan kemiringan batang (c) .                | 39 |
| Gambar 2.36 Hasil <i>dynamic relaxation</i> terhadap konfigurasi <i>reciprocal</i> (d) .....     | 40 |
| Gambar 3.1 Hubungan sistem konstruksi objek studi .....  | 41 |
| Gambar 3.2 (Kiri) Sambungan pada Struktur Reciprocal .....                                       | 42 |
| Gambar 3.3 Dokumentasi Hasil Penelitian Yosafat .....  | 43 |
| Gambar 3.4 Sambungan Besi (+) .....  | 43 |
| Gambar 3.5 Bentuk Da Vinci Dome .....  | 45 |
| Gambar 3.6 KREOD Pavillion.....  | 47 |
| Gambar 3.7 Sistem Sambungan Batang KREOD Pavillion.....  | 47 |
| Gambar 3.8 Komputasional Desain Pavillion PUC-Rio .....  | 49 |
| Gambar 3.9 Struktur dari Tampilan Ruang Dalam .....  | 49 |
| Gambar 3.10 Modul Penelitian .....   | 53 |
| Gambar 3.11 Potensi Duplikasi Bidang Lengkung .....  | 53 |
| Gambar 3.12 Sistem Deploy pada PentaREC .....  | 55 |
| Gambar 4.1 Diagram Kriteria Sistem Struktur.....   | 59 |
| Gambar 4.2 Gambar Detail Sambungan <i>Reciprocal A</i> .....                                     | 69 |
| Gambar 4.3 Gambar Detail Sambungan <i>Reciprocal B</i> .....                                     | 70 |
| Gambar 4.4 Gambar Detail Sambungan <i>Reciprocal C</i> .....                                     | 71 |
| Gambar 5.1 Pola Geodesik.....  | 74 |
| Gambar 5.2 Coding Menggunakan Grasshopper dan Kangaroo.....                                      | 75 |
| Gambar 5.3 Pembentukan Geodesik dengan Batang <i>Reciprocal</i> .....                            | 76 |
| Gambar 5.4 <i>Gridshell Reciprocal</i> Hasil Generasi Kangaroo .....                             | 76 |
| Gambar 5.5 Struktur <i>Reciprocal</i> (kiri), Struktur <i>Reciprocal-deployable</i> (kanan)..... | 79 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 5.6 Diagram model 1 elemen batang dengan gaya tarik dan tekan terbesar ..... | 87 |
| Gambar 5.7 Diagram model 2 elemen batang dengan gaya tarik dan tekan terbesar ..... | 87 |
| Gambar 5.8 Aula Arunika.....  | 88 |
| Gambar 5.9 Menggunakan Berp sebagai Surface .....                                   | 89 |
| Gambar 5.10 Pembuatan Bidang Kerja.....   | 89 |
| Gambar 5.11 Pembuatan Kurva .....   | 90 |
| Gambar 5.12 Pembentukan <i>NetworkSurface</i> .....                                 | 90 |
| Gambar 5.13 Pembentukan Mesh dari Berp .....  | 91 |
| Gambar 5.14 Hasil <i>Reciprocal</i> .....   | 91 |
| Gambar 5.15 Coding Sistem Konstruksi.....   | 91 |
| Gambar 5.16 Pembentukan mesh kedua sisi.....  | 92 |
| Gambar 5.17 Pembentukan sistem <i>reciprocal</i> kedua sisi .....                   | 92 |
| Gambar 5.18 Hasil ekspor ke dalam file Sketchup.....                                | 93 |
| Gambar 5.19 Pengambilan sampel struktur .....                                       | 93 |
| Gambar 5.20 Sampel Potongan dan Pusat Lengkung .....                                | 94 |
| Gambar 5.21 Membentuk Elemen SLE .....  | 94 |
| Gambar 5.22 Elemen SLE Diduplikasi Mengikuti Pola <i>Reciprocal</i> .....           | 95 |
| Gambar 5.23 Modul <i>Reciprocal</i> Diduplikasi mengikuti Potongan.....             | 95 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 1.1 Tahapan Penelitian.....   | 14 |
| Tabel 3.1 Analisa Sistem Struktur Hasil Penelitian Bernadette (Resiploy)..... | 42 |
| Tabel 3.2 Analisa Sistem Struktur Hasil Penelitian Yosafat.....               | 44 |
| Tabel 3.3 Analisa Sistem Struktur Da Vinci Dome .....                         | 45 |
| Tabel 3.4 Analisa Sistem Struktur KREOD Pavillion .....                       | 48 |
| Tabel 3.5 Analisa Sistem Struktur Pavillion PUC-Rio .....                     | 50 |
| Tabel 3.6 Hasil Penelitian oleh Ellen Gohtami .....                           | 51 |
| Tabel 3.7 Analisa Hasil Penelitian Ellen Gohtami.....                         | 51 |
| Tabel 3.8 Hasil Analisa Sistem Struktur SmiA Eksperimen.....                  | 53 |
| Tabel 3.9 Hasil Analisa Sistem Struktur PentaREC .....                        | 55 |
| Tabel 3.10 Tabel Potensi dan Kendala pada Objek Studi .....                   | 56 |
| Tabel 3.11 Kesimpulan Analisa Studi Kasus.....                                | 58 |
| Tabel 4.1 Tahapan Perancangan Maket .....                                     | 60 |
| Tabel 4.2 Tahapan Perancangan Prototipe.....                                  | 63 |
| Tabel 4.3 Analisa Percobaan Sambungan <i>Scissor-like Element</i> .....       | 72 |
| Tabel 5.1 Tahapan Analisa Dimensi Batang.....                                 | 77 |
| Tabel 5.2 Tabel Perbandingan Deformasi Gaya Gravitasiional.....               | 80 |
| Tabel 5.3 Tabel Perbandingan Deformasi Gaya Lateral .....                     | 81 |
| Tabel 5.4 Diagram Analisa Deformasi .....                                     | 83 |
| Tabel 5.5 Diagram Batang Tarik dan Batang Tekan.....                          | 85 |
| Tabel 5.6 Perbandingan jumlah batang tarik-tekan.....                         | 86 |
| Tabel 6.1 Kesimpulan Potensi dan Kendala .....                                | 97 |

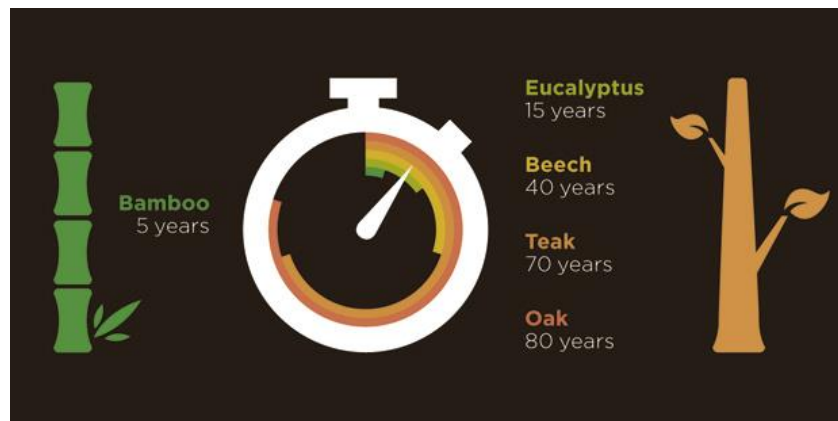
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kemudahan dan kecepatan pada konstruksi naungan dewasa ini menjadi acuan perkembangan teknologi struktur dalam bidang arsitektur. Terlebih lagi kebutuhan dalam waktu singkat akan naungan menjadi prioritas utama di tempat-tempat kritis seperti paska-bencana alam ataupun lokasi yang sulit dicapai. Terkadang kita juga membutuhkan naungan semi-permanen atau sementara yang mudah dan cepat dibangun untuk sesuatu peristiwa tertentu.

Pemilihan material konstruksi pun menjadi salah satu titik permasalahan, dimana material yang digunakan harus mudah ditemukan dan dikondisikan dalam iklim kita yaitu tropis. Bambu merupakan salah satu bahan bangunan yang sudah lama digunakan dalam konstruksi bangunan, khususnya di negara-negara berkembang. Bambu memiliki keunggulan mudah dibangun, kuat, ringan, tahan terhadap gempa, dan mudah diperbaiki. Bambu merupakan tanaman dengan pertumbuhan cepat menjadi acuan utama dalam pemilihan bahan bangunan terutama yang mudah didapatkan di daerah tropis. Indonesia yang terletak di dekat garis khatulistiwa memiliki iklim tropis yang tinggi curah hujan dan kelembapan, namun kondisi tanah subur mendukung pertumbuhan tanaman. Dari kriteria diatas, material bambu menjadi pilihan untuk eksplorasi struktur ini, dengan sistem rhizoma-dependen, bambu dapat bertumbuh sekitar 60cm per hari nya bahkan di tanah subur dapat lebih cepat.



Gambar 1.1 Perbandingan Pertumbuhan Bambu dengan Kayu  
(sumber : image.google.com)

Kurang lebih terdapat 75 jenis bambu namun yang memiliki nilai ekonomis hanya sekitar 10 jenis bambu (Sutiyono, 2006). Konstruksi bangunan rumah tinggal di pedesaan wilayah Jawa dan Sunda mayoritas menggunakan material dinding bambu. Pohon bambu dengan spesies tertentu digunakan sebagai beragam elemen konstruksi rumah maupun sebagai jembatan. Bambu berkualitas tinggi lebih kuat dibandingkan baja sebagai bahan bangunan namun membutuhkan perawatan khusus untuk menjaga nilai awet bambu.

Berdasarkan jurnal yang dikaji oleh Ni Komang Ayu Artiningsih (2012), bambu dinilai berpotensi menjadi bahan bangunan yang ramah lingkungan, dikarenakan kekuatan tarik tinggi dibanding kan baja, kekuatan tinggi untuk rasio berat dan beban daya dukung tinggi, membutuhkan lebih sedikit energi untuk produksi, layanan kinerja bambu dapat ditingkatkan dengan pengawetan, dapat menjadi material komposit untuk meningkatkan kekuatan struktural, memiliki kemampuan untuk mengurangi guncangan angin maupun seismik, dan efisien menyerap karbon dioksida dan berkontribusi terhadap pengurangan efek rumah kaca.

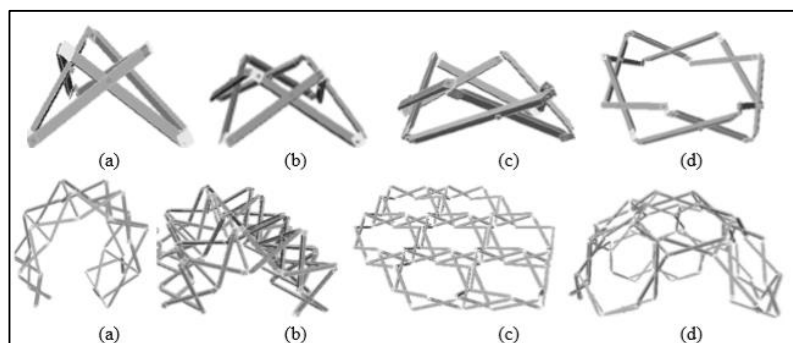


Gambar 1.2 Potensi Penggunaan Material Bambu sebagai Bahan Bangunan (sumber :google.com)



Faktor pertimbangan lain merupakan pemilihan sistem struktur yang mudah dalam pengangkatan dan transportasi, relatif ringan secara beban struktur itu sendiri, dan cepat dalam konstruksi di lapangan karena pre-fabrikasi dibandingkan dengan konstruksi pada tapak seperti beton yang membutuhkan waktu untuk bisa melanjutkan pengerjaan konstruksi lainnya. Ketiga hal diatas menjadi aspek utama yang dapat menyelesaikan permasalahan naungan dengan sistem rangka *Reciprocal* berfungsi sebagai naungan kecil maupun naungan besar untuk fungsi umum. Struktur rangka *Reciprocal* merupakan tiga dimensional sistem struktur –banyak digunakan sebagai struktur atap dengan masalah keterbatasan dimensi panjang batang– terdiri dari hubungan mutual antara batang yang saling menumpu. Sistem struktur *Reciprocal* terdiri dari susunan bentuk polygon sederhana dan dapat berpotensi sebagai bukaan cahaya alami. Sistem struktur *Reciprocal* dapat mengikuti bentuk denah fleksibel namun keterbatasan pada sistem transportasi yang membutuhkan sistem konstruksi di tempat.

Struktur *deployable* adalah struktur yang dapat bertransformasi bentuk dari kompak menjadi struktur yang lebih besar. Struktur ini relatif ringan dan mudah dalam segi transportasi. Karakteristik sistem struktur dengan hubungan sendi antar elemen membuka potensi sistem ini bertransformasi. Hal ini mendukung kecepatan dan kemudahan dari segi pemasangan dan pembongkaran struktur. Struktur *deployable* dapat berupa planar maupun spasial, mengikuti kebutuhan besaran naungan, juga dapat dikembangkan dengan penambahan beberapa komponen struktur. Dimana bentuk planar merupakan sistem struktur yang terdiri dari ruang-ruang sebagai wadah arsitektural seperti pada gambar 1.3 (a) sedangkan bentuk spasial merupakan bentuk yang melingkupi atau berperan sebagai cangkang untuk membentuk wadah arsitektural dibawahnya seperti pada gambar 1.3 (d).



Gambar 1.3 Contoh Konfigurasi Struktur Deployable :  
a-b) tipe modul piramid, c-d) tipe tidak simetris  
(sumber : google.com)

Kategori struktur *deployable* berdasarkan elemen pembentuknya, yaitu struktur batang dengan sambungan sendi, struktur pelat lipat dengan sambungan sendiri, struktur kabel(tension), dan struktur membran. Berdasarkan morfologi sistem struktur *Deployable*, struktur batang dengan sambungan sendi menjadi fokus utama eksplorasi struktur spasial.

*Gridshell* tergolong sebagai struktur spasial sebagai atap bidang, merupakan struktur hasil lengkungan ganda untuk menahan bebannya. Elemen pembentuk bidangnya merupakan susunan elemen batang yang saling terkait. 1896, struktur ini ditemukan oleh insinyur Rusia Vladimir Shukhov dalam konstruksi paviliun pameran industri dan seni All-Russia 1896 di Nizhny Novgorod. Bentuknya yang menyerupai cangkang membentuk naungan bentang besar bebas kolom untuk mewadahi aktivitas kebersamaan.



Gambar 1.4 Gridshell oleh Vladimir Shukhov  
(sumber: wikipedia.org)

Kebutuhan akan naungan besar terkadang terbatas dengan bentangan dimensi material bangunan yang membuat dibutuhkan material yang lebih besar untuk menahan momen berat dari bentang besar, namun dengan sistem rangka batang yang tersusun menjadi sebuah spasial struktur besar dapat menjawab permasalahan bentang bangunan.

*The Spatial Reciprocal Frame* adalah grid tiga dimensi, terutama digunakan sebagai elemen struktur atap bangunan, yang terdiri dari sistem saling mendukung balok. Balok yang digunakan berdimensi relatif pendek, saling menumpu. Sistem struktur ini dapat menciptakan berbagai jenis konstruksi yang memungkinkan pembongkaran kerangka kerja dan pemasangan ulang dalam berbagai bentuk.

*Reciprocal Structure* , juga dikenal sebagai atap Mandala, telah digunakan sejak abad kedua belas dalam arsitektur Cina dan Jepang meskipun sedikit atau tidak ada jejak metode kuno ini tetap ada. Dewasa ini, struktur reciprocal digunakan oleh arsitek Kazuhiro Ishii ( Spinning House) dan Yasumi Kijima, dan insinyur Yoishi Kan (Kijima Stonemason Museum).



Gambar 1.5 Struktur Atap *Reciprocal* pada Villard de Honnecourt  
(sumber : image.google.com)

Karakteristik utama struktur *reciprocal* bahwa mereka dapat melakukan reformasi sambungan dengan berbagai geometri yang bisa dibongkar dan direformasikan lagi menggunakan titik sambungan berbeda diposisikan tidak secara ko-planar. Elemen yang sama dapat digunakan untuk membuat persimpangan terbentuk dari tiga, empat, lima, atau bahkan lebih dengan sistem statis ekuilibrium yang berubah tergantung pada variasi ketinggian yang ditentukan

Struktur ini dapat menggunakan beragam bahan, termasuk baja, kayu laminasi, bahkan beton bertulang. Namun sifatnya yang fleksible membuat daya tarik dengan material bambu yang memiliki sifat fleksible. Konstruksi atap dan plafon menggunakan balok pendek dimana pada jaman itu diakui sebagai salah satu dari kebanyakan teknologi antik, begitu banyak sehingga asal usul penggunaannya telah hilang dalam tradisi konstruksi. Didirikan berdasarkan pengalaman luas

manusia dalam penggunaan bahan alami seperti kayu, itu tidak dapat dihindarkan bahwa elemen penarik beban pada awalnya terbatas pada dimensi yang ditemukan di alam.



Gambar 1.6 Struktur Reciprocal Grid-shell  
(sumber : archdaily.com)



Gambar 1.7 Struktur Bidang Atap Lengkung *Reciprocal*  
(sumber : archdaily.com)

Eksplorasi struktur *reciprocal* ini dapat menuntun kita pada konstruksi bangunan yang cepat dan modular, juga dapat diregenerasikan. “*Reciprocal*” mengacu pada struktur yang terdiri dari berbagai elemen yang secara struktural berinteraksi melalui sambungan sederhana untuk menciptakan struktur yang lebih kompleks dan lebih besar. Selain itu, secara memudahkan secara transportasi dan pemasangannya. Pada lingkungan yang dikembangkan teknologi saat ini, potensi pengembangan struktur dapat lebih kompleks dan dapat menggunakan material lokal.

Pengambilan beberapa objek studi mengenai desain struktur dan konstruksi *reciprocal, deployable, gridshell*, dengan penggabungan 2 jenis struktur-konstruksi dan lebih.

Objek studi dibagi menjadi 4 kelompok diklasifikasikan sesuai dengan sistem konstruksi yang digunakan, yaitu *reciprocal-deployable, reciprocal gridshell, deployable gridshell*, dan *reciprocal-deployable gridshell* pada masing masing kelompok diambil 2 objek studi.

Pada kelompok klasifikasi pertama, yaitu struktur rangka *reciprocal-deployable* karya Bernadette Sudira, ST., struktur rangka modular *reciprocal-deployable* karya Yosafat Bakti, ST., dimana karya Yosafat Bakti merupakan hasil evaluasi dari karya Bernadette dan keduanya menggunakan sistem struktur-konstruksi yang memiliki prinsip yang sama.

Lalu pada kelompok klasifikasi kedua, struktur kubah Da Vinci Dome karya Hiroji Murata yang menggunakan prinsip konstruksi jembatan Da Vinci pada bentuk *gridshell* dan struktur pada KREOD Pavillion karya Chun Qing Li menggunakan sistem *reciprocal gridshell*, kedua objek memiliki persamaan berbentuk konstruksi bidang lengkung dengan sambungan jepit sehingga memiliki sistem struktur yang sama.

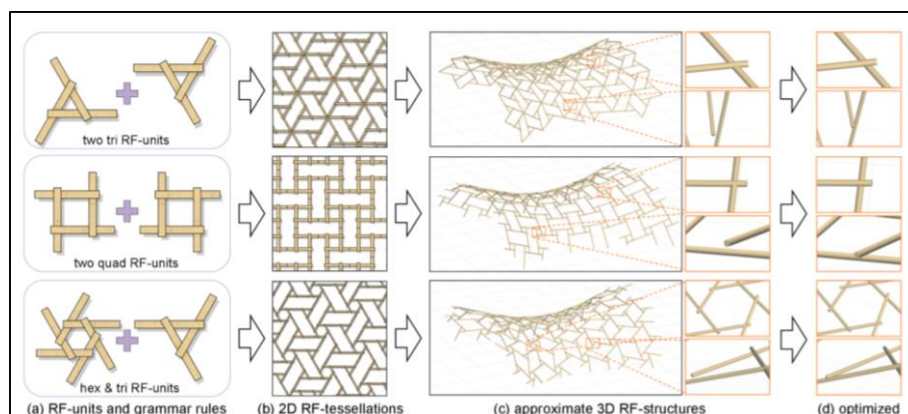
Selanjutnya kelompok klasifikasi ketiga mengenai sistem konstruksi *deployable gridshell*, dengan objek studi PUC-Rio Pavillion karya Bambutec Design di Brazil dan penelitian mengenai pantograf oleh Ellen Gohtami, ST., keduanya menggunakan sistem pantograf dalam mendesain bidang lengkung ataupun dalam mencapai bentuk inovasi.

Pada kelompok klasifikasi terakhir mengangkat objek studi SmiA Eksperimen terkait sistem konstruksi *reciprocal-deployable gridshell*, walaupun keduanya memiliki sistem konstruksi yang sama namun memiliki cara transformasi dan penggunaan karakter batang yang berbeda. Tentunya kedelapan objek studi ini



memiliki potensi dan kendala yang menjadi aspek yang perlu diperhatikan dan sebagai bahan evaluasi dalam penelitian sistem struktur dan konstruksi ini.

Berdasarkan karakteristik sistem konstruksi secara teori dan objek studi, didapat kriteria konstruksi sebagai acuan eksplorasi, sebagai berikut: (1) transformabilitas (kemampuan struktur untuk mengubah bentuk menjadi lebih kompak ataupun lebih besar, dalam hal pemudahan dalam segi transportasi dan konstruksi), (2) memiliki sistem penguncian mandiri (berkemampuan dalam mencapai syarat konstruksi kuat, kaku, stabil dengan elemen batang yang ada pada sistem konstruksi saja), dan (3) membentuk bangunan bentang lebar dengan bidang lengkung (bentuk efektif dalam penyaluran beban merupakan bentuk lengkung sehingga dalam usaha membangun bentang lebar digunakan bentuk efektif untuk mengurangi gaya yang terjadi pada sistem struktur, dalam usaha membentuk bidang lengkung dibagi menjadi tiga kriteria, yaitu arah duplikasi dengan karakter bidang dengan arah penyaluran beban kedua arah menjadi patokan arah duplikasi modul konstruksi, kemampuan duplikasi bentang lebar merupakan aspek yang dibatasi oleh dimensi dan karakter elemen batang yang digunakan, dan kemampuan duplikasi bidang lengkung merupakan kemampuan sistem konstruksi yang menggunakan elemen batang lurus menjadi bentuk sistem lengkung tanpa melengkungkan elemen batang. Hal lainnya mengacu pada eksplorasi terhadap struktur dapat didukung dari kriteria konstruksi yang didapatkan.



Gambar 1.8 Contoh Eksplorasi Konfigurasi *Reciprocal*  
(sumber : google.com)

Pada jaman modern, adanya intensi pergeseran minat terhadap desain bentuk yang menjauhi bentuk keseragaman dan standarisasi struktur dan bentuk. Di sisi lain, pengembangan sistem struktur cangkang yang telah digunakan berabad-abad dalam

bidang arsitektur juga terus berkembang untuk mencapai bentang lebar yang efektif. Hal ini menjadi topik pokok pembahasan penelitian untuk mengembangkan geometri kompleks yang interaktif dengan mengelevasi teknik ketukangan.

Desain menggunakan struktur *reciprocal* dengan penyusunan tiap batangnya mengikuti pola poligonal tertentu bukan hal yang mudah diatur terutama dalam penentuan dimensi batang, derajat kemiringan, dan penggabungan pola *reciprocal*. Melalui metode komputasional, dapat diketahui dimensi batang, derajat kemiringan, dan pola penggabungan *reciprocal* memfokuskan pengolahan desain pada stabilitas bentuk dan membentuk bangunan tanpa keterbatasan bentuk.

Komputasional dapat menggunakan beragam pendekatan dari peranti lunak yang berbeda-beda. Dalam studi kasus penelitian ini, lebih memperdalam dalam penggunaan peranti lunak rhinoceros dengan kolaborasi *grasshopper*. Dalam *grasshopper*, terdapat *interface* yang dapat mempermudah penggambaran sistem struktur *reciprocal* berbentuk *gridshell* dengan *interface kangaroo* yang sudah terintergerasi algoritma *reciprocal*. Penggunaan *interface kangaroo* dengan penambahan coding konfigurasi struktur penggabungan *reciprocal* dengan *deployable* diharapkan menghasilkan potensi bentuk yang dapat ditemukan dari penggabungan sistem struktur.

*Form-finding* pada sistem struktur ini dapat dibantu secara komputasional. Perancang dapat merancang dan memvisualisasikan struktur dalam tiga dimensional, dari jumlah batang, arah penyusunan, panjang batang, ketebalan batang, sudut antar batang (*nexorades*). Sehingga dapat membentuk potensi bentuk yang tidak terbatas dari pengolahan bentuk denah. Selain itu, *form-finding* mengarah pada pembentukan geometri kompleks dengan isu parameter lingkungan dan keterbatasan material mendorong pada solusi meminimalkan penggunaan material dan distribusi beban dalam desain bentuk arsitektur non-standart.

Pengembangan struktur *reciprocal* dapat melalui pengolahan material lokal seperti bambu dengan penggabungan sistem struktur spasial *reciprocal* dan *deployable*, diharapkan dapat saling membantu kelemahan lainnya. Sistem struktur *deployable* dibutuhkan lock-mechanism untuk membuat bangunan *rigid*, material bambu yang memiliki keterbatasan dimensi panjang batang dengan solusi penggabungan struktur *reciprocal* yang dapat membuat *gridshell* dengan sistem saling menyokong untuk mendapat sebuah bentuk yang kaku/*rigid*. Komputasional

memungkinkan struktur *reciprocal-deployable* secara tiga dimensional sehingga struktur dapat teroptimalisasi dengan baik.



Gambar 1.9 Perencanaan Sekolah Arunika Waldorf  
(sumber : <https://www.kitabisa.com/sdarunikawaldorf>)

Arunika Waldorf merupakan sekolah dasar alternatif yang mengembangkan indera anak dalam pengajaran. Pendidikan Waldorf merupakan pendidikan dari Jerman yang berakulturasi pada budaya lokal. Selain mempelajari pelajaran dasar, disana diajarkan mengenai indera anak melalui pendidikan holistik berupa aktivitas motorik, seni, dan spiritual. Karena beberapa kebutuhan mendasar, sekolah Arunika dijadikan salah satu kasus dimana adanya kebutuhan nuangan semi-permanen yang mudah dan cepat dibangun karena lokasi yang sulit untuk dilakukan kegiatan konstruksi dan ada kemungkinan bangunan dipindahkan karena status lahan bukan milik sendiri melainkan dipinjamkan kepada pengurus Arunika. Selain itu, melihat pada studi kasus sebuah tempat pembelajaran di daerah Awiligar, Bandung Timur yang membutuhkan bangunan bentang lebar, dikarenakan dalam aktivitas belajar dan mengajar dibutuhkan naungan yang dapat menampung banyak orang dewasa dan anak-anak dalam acara-acara tertentu seperti *open house*.

Sehingga permasalahan mengenai: (1) keterbatasan lahan untuk proses konstruksi dapat diatasi dengan sistem konstruksi *reciprocal* yang relatif ringan sebagai struktur juga memiliki sistem penguncian mandiri sehingga tidak membutuhkan ruang tambahan sebagai ruang gerak untuk konstruksi, (2) akses



menuju lokasi yang hanya memungkinkan mobil satu arah dengan kemiringan elevasi yang cukup curam menjadi aspek pertimbangan sistem konstruksi yang dapat dengan mudah ditrasportasikan hal ini mengarahkan pada kebutuhan sistem konstruksi bangunan yang dapat bertransformasi dimana sistem konstruksi *deployable* menjadi pertimbangan, dan (3) kebutuhan akan bangunan bentang lebar untuk menaungi aktivitas bersama yang efektif secara bentuk mengarah pada sistem struktur *gridshell* dimana penyaluran beban secara optimal melalui elemen batang sehingga mengurangi potensi gaya momen.

## 1.2. Rumusan Masalah

Pengembangan konstruksi bambu dengan mengkombinasikan potensi sistem konstruksi *deployable* dengan sistem konstruksi rangka *reciprocal* telah dilakukan baik oleh Bernadete Sudira, ST. maupun Anastasia Maurina, ST., MT. masih memungkinkan dilakukannya pengembangan potensi *Reciprocal-deployable* untuk menciptakan konfigurasi modul yang dapat diduplikasi membentuk sistem struktur bidang lengkung.

Kekurangan dari sistem konstruksi *Deployable* yang membutuhkan sistem penguncian sistem konstruksi secara manual yang telah dilakukan dengan baik oleh Yosafat Bakti Dwiana, ST. dan menggali potensi dari sistem struktur *Reciprocal* untuk membuat bentang besar dengan kemudahan transportasi dan konstruksi.

Selain itu, penggalan potensi mengikuti perkembangan teknologi untuk menciptakan bentuk dengan geometri kompleks seperti yang dilakukan Ellen Gohtami dalam penelitian mengenai potensi sistem konstruksi *deployable*. Dan menggali potensi dalam perencanaan struktur konstruksi dan bentuk bangunan dengan bantuan komputasional.

Untuk membuat konfigurasi struktur bambu *reciprocal-deployable* yang dapat membentang lebar dengan bentuk sistem *gridshell*, maka dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

- Apa potensi dan kendala sistem konstruksi pada studi preseden ;
  - o *Reciprocal-deployable*
  - o *Reciprocal gridshell*
  - o *Deployable gridshell*
  - o *Reciprocal-deployable gridshell*

- Bagaimana potensi dari penggabungan desain struktur *reciprocal-deployable* pada bentuk *gridshell* dalam pemenuhan kriteria struktur transformatif, memiliki sistem penguncian mandiri, dan dapat membentuk bentang lebar dengan bidang lengkung?
- Bagaimana potensi pengembangan bentuk dari sistem struktur *Reciprocal-Deployable* dengan pendekatan komputasional?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi struktur bentang lebar transformatif dengan menggabungkan dan mengembangkan sistem struktur konstruksi *deployable* dan *reciprocal* dalam bentuk struktur atap bidang *gridshell* bambu, menjadi sebuah konfigurasi mandiri tersusun dari variasi komposisi modul dengan bantuan komputasional mengikuti kebutuhan desain arsitektur.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat berguna baik bagi secara praktis, maupun secara akademis

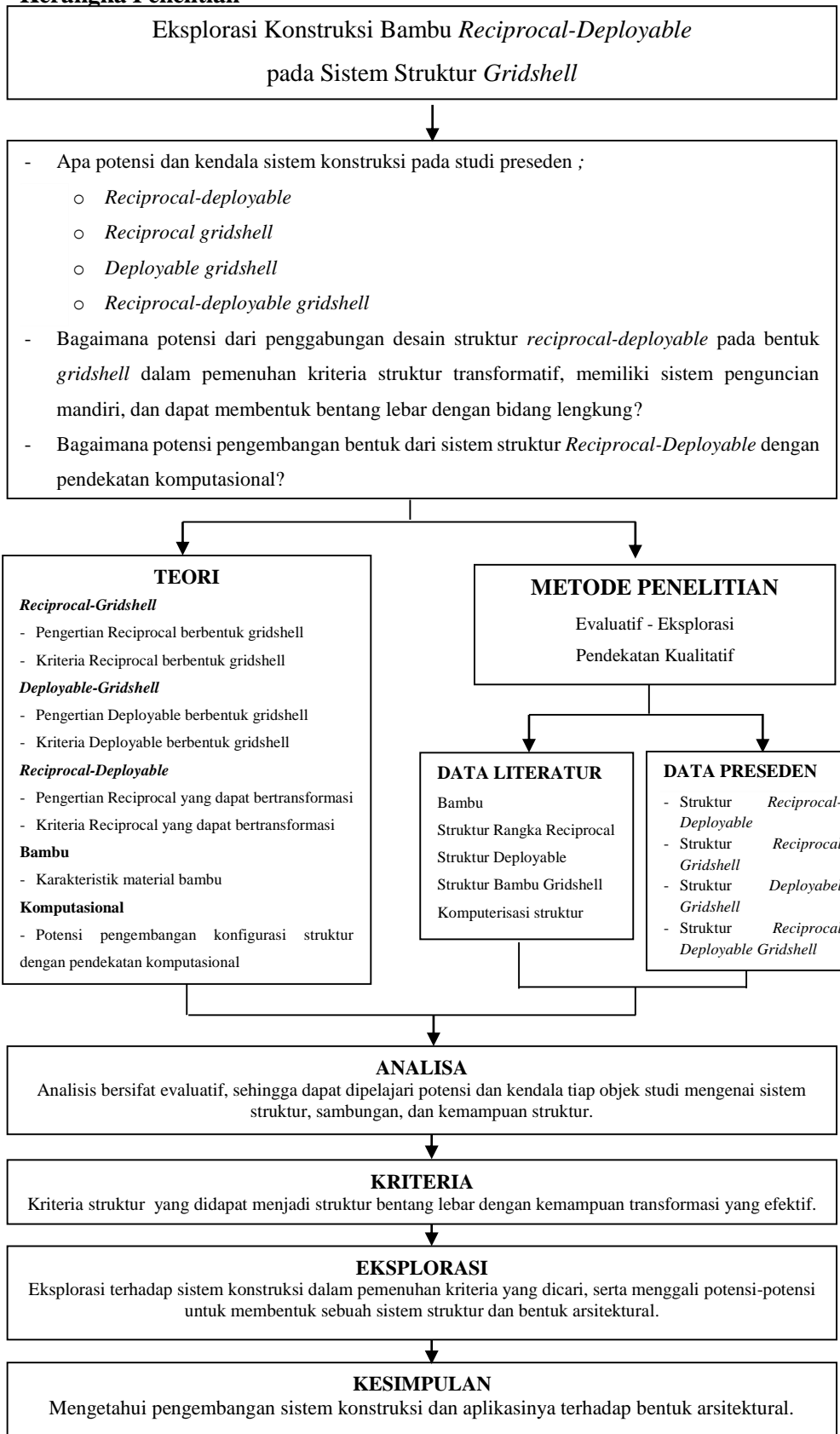
#### - *Manfaat praktis*

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan masyarakat terutama dalam menggunakan material bambu untuk pengembangan naungan sementara maupun permanen. Sistem struktur diharapkan dapat menjadi alternatif pengembangan perencanaan di Arunika Waldorf yang berfungsi sebagai struktur atap bangunan aula bersama.

#### - *Manfaat akademis*

Penelitian ini diharapkan menjadi inovasi baru dalam keteknikan material bambu yang dapat meningkatkan nilai lokalitas Indonesia. Mengikuti perkembangan teknologi dengan memanfaatkan potensi analisa komputer sebagai pengembangan potensi bentuk tidak terbatas dari sistem struktur.

### 1.5. Kerangka Penelitian



## 1.6. Metodologi Penelitian

### 1.6.1. Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah evaluatif dengan menganalisa data teori dengan data preseden. Membuat sintesa potensi dan kekurangan dari masing-masing objek studi. Hasil analisa ini kemudian dieksplorasikan untuk menemukan kriteria sistem struktur *reciprocal-deployable* membentuk struktur atap bidang *gridshell* dengan sistem struktur spasial.

Selanjutnya menggunakan metode *Riset Through Design* dengan mengeksplorasi konfigurasi sistem struktur gabungan dan potensi-potensi pengembangannya melalui eksperimen berupa maket bentuk (analog) dan sistem komputer (komputasional).

### 1.6.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Tahapan penelitian dari studi literatur hingga pada eksplorasi untuk sistem struktur *reciprocal-deployable gridshell*, yaitu studi literatur dan preseden bangunan, eksperimen maket, maket studi, pengembangan konfigurasi sistem struktur, pengujian maket, analisa sistem struktur dengan pendekatan komputasional, pembuatan purwarupa, dan penarikan kesimpulan.

Penelitian dilakukan di Universitas Katolik Parahyangan, Jalan Ciumbuleuit no.94, Bandung dalam kurung waktu Februari 2019 hingga Mei 2019.

Tabel 1.1 Tahapan Penelitian  
(sumber: data pribadi)

| Proses Penelitian                                | Februari | Maret | April | Mei |
|--|----------|-------|-------|-----|
| Studi literatur                                  |          |       |       |     |
| Studi preseden                                   |          |       |       |     |
| Analisa dan sintesa studi literatur dan preseden |          |       |       |     |
| Eksperimen Maket                                 |          |       |       |     |
| Maket Studi                                      |          |       |       |     |
| Pengembangan konfigurasi                         |          |       |       |     |
| Pengujian Maket                                  |          |       |       |     |

|                       |  |  |  |  |
|-----------------------|--|--|--|--|
| Analisa komputasional |  |  |  |  |
| Pembuatan purwarupa   |  |  |  |  |
| Penarikan kesimpulan  |  |  |  |  |

### 1.6.3. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data menggunakan cara evaluasi mengenai pengertian dan karakteristik sistem struktur *deployable*, sistem struktur *reciprocal*, serta potensi penggabungan sistem struktur *reciprocal* dan *deployable* melalui buku, jurnal, maupun penelitian yang sudah pernah dilakukan. Hal ini dilakukan untuk memahami cara kerja suatu sistem struktur, seperti eksplorasi maket struktur rangka. Dengan wujud fisiknya, kita dapat menguji coba sistem struktur tersebut.

Dilanjutkan dengan simulasi modeling, hasil dari sintesa kriteria struktur dari studi literatur dan preseden dikembangkan menjadi desain baru dengan melakukan eksplorasi desain secara manual pembuatan maket (analog) dan sistem komputer (komputasional).

Pengumpulan data sekunder dari internet dilakukan terutama dalam analisa preseden bangunan dalam sistem kerja bangunannya dikarenakan lokasi objek studi yang terletak di luar negeri.

### 1.6.4. Teknik Analisa

Analisa data dilakukan secara kualitatif dikategorikan berdasarkan keunggulan dan kekurangan dari setiap objek studi melalui komparasi beberapa unsur bangunan terutama dalam hubungan keseluruhan elemen batang dalam sistem struktur dan sistem sambungan antar elemen batang. Dilanjutkan mensintesa data menjadi konfigurasi sistem struktur baru berupa sistem struktur *reciprocal-deployable* spasial berbentuk *gridshell*. Setelah mendapatkan kriteria struktur yang sesuai dengan tujuan penelitian, dilakukan eksplorasi sistem struktur.