

Sistem Struktur Lantai Bambu Untuk Alas Tidur Pengungsi

(Bamboo Floor Structure for Refugee Bedding)

Intan Findanavy Ridzqo^{1*}, M. Amrullah Andre Irawan², Estuti Rochimah³, Verdy Ananda Upa⁴

^{1,2,3}Program Studi Arsitektur, Institut Teknologi Indonesia

Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, Provinsi Banten, 15320

⁴Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Indonesia

Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, Provinsi Banten, 15320

Abstrak

Rancangan konstruksi panggung dimaksudkan untuk menghindari ancaman hewan-hewan tanah, kenaikan air laut dan sebagai ruang udara untuk mengalirkan termal. Sebagai suatu struktur yang bersifat sementara, pengembangan rancangan struktur lantai sebagai alas tidur pengungsian dapat menggunakan material yang dapat ditemukan di sekitar lokasi bencana. Bambu, sebagai salah satu sumber penyedia material struktural bangunan, merupakan tanaman yang mudah dibudidayakan, mudah dipanen dan langsung digunakan. Hasil penelitian menekankan pada eksplorasi model sambungan dan formasi komponen struktural pada sistem struktur. Penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap perancangan model struktur secara digital, dan analisis kekuatan model struktur. dengan adanya maket struktur membuat pemahaman konstruksi lebih mudah diketahui secara teknis. Di sisi lain, analisis digital memungkinkan tim peneliti mengetahui kekuatan sistem struktur.

Kata Kunci : struktur dan konstruksi bambu, pencetakan tiga dimensi, model maket, dan analisis kekuatan.

Abstract

The design of the stage construction is intended to avoid the threat of animals, rising sea levels and creating space for thermal release. As a temporary structure, the development of floor structure design as a refugee bed can use materials that can be found around the disaster site. Bamboo, as a source of building structural materials, is a plant that is easy to cultivate, easy to harvest and use immediately. The results of this study emphasize the exploration of the connection model and the formation of structural components in the structural system. This research consists of three stages, namely the stage of designing a digital structural model, and analyzing the strength of the structural model. with the structure mock-up, it is easier to understand the construction technically. On the other hand, digital analysis allowed the research team to know the strength of the structural system.

Keywords: bamboo structure and construction, three-dimensional printing, mock-up model, and strength analysis.

*Penulis Korespondensi.

Alamat e-mail: intan.findanavy@iti.ac.id, intan.findanavy@gmail.com

1. Pendahuluan

Berbagai bencana melanda hampir di seluruh wilayah Indonesia belakangan ini. Fenomena alam yang semakin ekstrem, seperti curah hujan yang lebat, atau wilayah Indonesia yang berada di atas garis api yang tercipta dari

pertemuan lempengan benua menjadikan gunung berapi aktif dan gempa sebagai fenomena alam yang tidak dapat terpisahkan. Kejadian fenomena alam menjadi bencana bagi manusia ketika manusia bermukim di area terjadinya fenomena

alam yang menimbulkan kerusakan infrastruktur yang dibangun oleh manusia.

Penanganan pertama terhadap masyarakat yang terdampak bencana, umumnya, adalah dengan menempatkan masyarakat pada suatu area yang relatif paling aman terhadap bencana susulan, seperti tanah yang datar dan terletak paling tinggi. Pada area ini, bantuan disalurkan dan didirikan tenda-tenda pengungsian untuk hunian sementara. Namun, bencana tidak memilih waktu, yang dapat terjadi di musim kemarau dan musim penghujan. Bentuk tenda pengungsian, umumnya, dibuat untuk fungsi penauangan penghuninya terhadap terpaan cahaya matahari, angin dan air hujan. Sedangkan, pengungsi tidur beralaskan dengan alas terpal seadanya. Tak ayal, kelembaban dari uap air pada permukaan tanah, genangan air hujan yang meresap di tanah membasahi alas tidur ini pada musim kemarau, atau bahkan bahaya masuknya hewan-hewan tanah, seperti ular, justru bisa menjadi bencana

lain yang mengancam kesehatan dan keselamatan [1] [2] [3] (Gambar 1).

Tenda pengungsian yang dapat menjamin keamanan, keselamatan dan kesehatan menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat yang terdampak bencana. Untuk itu, rancangan tenda pengungsian perlu dikembangkan untuk dapat memenuhi aspek-aspek tersebut. Menanggapi kondisi permasalahan dan kebutuhan tersebut, arsitektur tradisional di Indonesia sebenarnya telah mengajarkan kepada kita, yaitu dengan lantai panggung. Konstruksi lantai panggung dapat ditemukan pada hampir sebagian besar arsitektur tradisional di Indonesia, baik di daerah pesisir maupun di pegunungan. Rancangan konstruksi panggung dimaksudkan untuk menghindari ancaman hewan-hewan tanah, kenaikan air laut dan sebagai ruang udara untuk mengalirkan termal [4].



Gambar 1. Beberapa media yang mengabarkan situasi tenda pengungsian yang basah saat hujan.
Sumber: fajar.co.id, Kompas.com dan tribunnews.com.

Salah satu rancangan desain tenda dengan alas yang dinaikkan dari permukaan tanah, yang menggunakan logika pentingnya alas dinaikkan, adalah tenda *velbed*. Tenda *velbed* menggabungkan konstruksi rangka tidur aluminium yang biasanya digunakan oleh tentara dengan tenda penauang di atasnya (Gambar 2). Kapasitas tenda *velbed* adalah untuk satu orang. Pemanfaatan logika rancangan tenda *velbed* dapat dikembangkan lebih lanjut untuk tenda pengungsi yang dapat menampung pengguna setidaknya satu keluarga, yaitu ringan dan mudah dirangkai.

Sebagai suatu struktur yang bersifat sementara, pengembangan rancangan struktur lantai sebagai alas tidur pengungsian dapat menggunakan material yang dapat ditemukan di sekitar lokasi bencana. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin ketersediaan bahan yang dapat langsung diperoleh sehingga meminimalisasi waktu tunggu kiriman bantuan. Bambu, sebagai salah satu sumber penyedia material struktural bangunan, merupakan tanaman yang mudah dibudidayakan, mudah dipanen dan langsung digunakan. Namun, konstruksi bambu secara tradisional memerlukan waktu yang relatif lama

dan membutuhkan keahlian ketukangan yang spesifik. Untuk mendirikan ruang pengungsian sementara yang cepat dan mudah, serta dapat dikerjakan oleh masyarakat umum, diperlukan suatu model sambungan pada konstruksi lantai



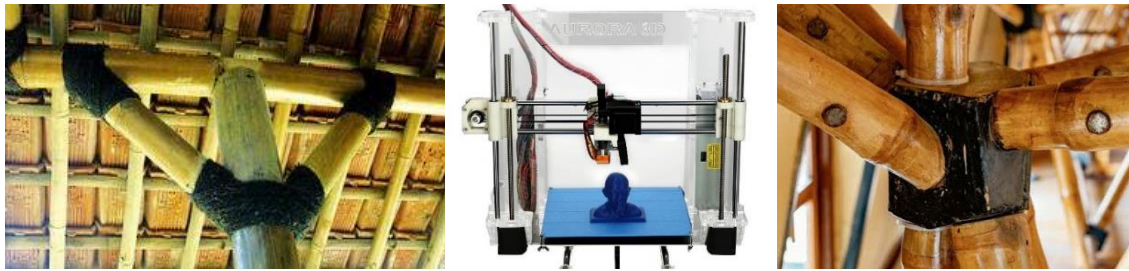
Gambar 2. Tenda *velbed*.

Sumber: tokopedia.com.

panggung tersebut. Berbagai rancangan model sambungan konstruksi bambu modern pun telah banyak berkembang, seiring dengan kemudahan alat pembuatnya, yaitu digital printing. Banyak penelitian telah memanfaatkan teknologi tersebut,

namun pemanfaatannya untuk menghasilkan solusi yang dapat membantu kebutuhan

masyarakat dalam upaya mitigasi bencana belum banyak dilakukan.



Gambar 3. Konstruksi bambu secara tradisional yang dikembangkan secara digital dan dicetak dengan mesin cetak 3D menghasilkan suatu sambungan bambu yang modern.

Sumber: hdesignideas.com, jakartanotebook.com dan abari.earth.

2. Teori Dasar

2.1 Bambu dan Struktur Bambu

Bambu merupakan salah satu tanaman yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia. Tanaman bambu mudah dibudidayakan dan tidak diperlukan perawatan khusus, bahkan dapat dimanfaatkan untuk menyerap racun yang terkandung di dalam air dan tanah. Batang tanaman bambu dapat dipanen dalam waktu lima tahun. Batang bambu merupakan salah satu sumber bahan bangunan struktural dari sumber organik selain kayu. Dalam proses pembuatan struktur bangunan menggunakan bambu, bambu termasuk bahan yang mudah dipotong dan dibentuk. Bambu memiliki sifat fisis berupa massa jenis yang ringan, salah satunya disebabkan karena bagian tengah penampang bambu kosong atau tidak berisi. Sementara itu, berdasarkan sifat mekanis, bambu memiliki kelebihan berupa kekuatan tarik yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kayu. Bambu dengan diameter batang dan dinding yang tebal, seperti jenis bambu petung, memiliki kuat tekan yang tinggi yang banyak dimanfaatkan sebagai elemen struktural, seperti tiang. Namun, kelemahan bambu adalah durabilitasnya sebagai elemen struktural tidak lebih lama daripada kayu, terutama apabila terpapar cahaya matahari dan air secara terus menerus. Durabilitas ini tentu sebanding dengan waktu panen yang juga relatif cepat.

Sejak dahulu hingga saat ini, batang bambu secara luas digunakan sebagai material struktural, mulai dari struktur jembatan hingga bangunan. Dalam pengetahuan struktur bangunan menggunakan bambu, bambu dapat digunakan untuk menciptakan struktur bangunan secara keseluruhan (lantai hingga atap), struktur penutup (atap), atau struktur lantai saja (Gambar 4). Dalam upaya mitigasi bencana, bambu dapat menjadi bahan alternatif untuk menciptakan ruang perlindungan. Pradipto dan Hamastuti [5] dalam artikelnya yang berjudul Konstruksi Lantai Bambu Bongkar Pasang Bentang Panjang Untuk

Mitigasi Bencana, menawarkan suatu rancangan struktur lantai panggung untuk alas pengungsi tidur. Sama seperti konsep lincak di Jawa yang digunakan sebagai bangku panjang dan lebar untuk berkumpul beberapa orang, struktur lantai bambu tersebut dimaksudkan untuk dapat menampung banyak orang di atasnya.

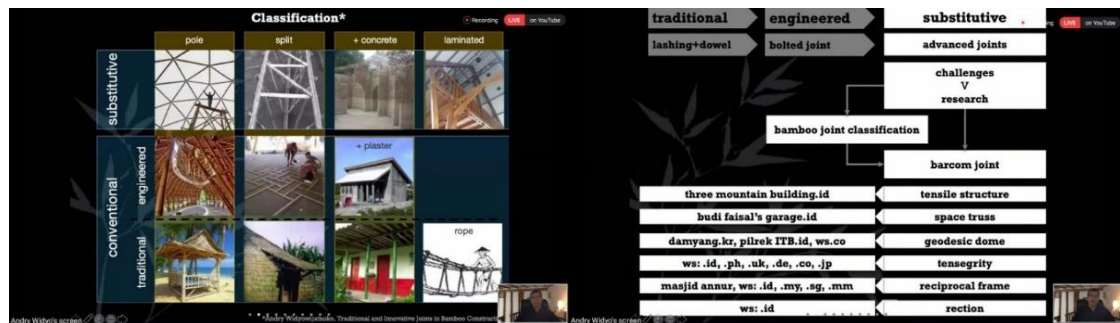


Gambar 4. Saung dengan struktur bambu (atas), struktur atap dengan bambu (tengah) dan struktur lantai bambu untuk mitigasi bencana (bawah).
Sumber: Tunastaman.com (kiri) dan Pradipta dan Hamastuti (kanan).

2.2. Struktur Bambu

Sebuah sistem struktur dilengkapi dengan konstruksi. Konstruksi yang dimaksud merupakan sambungan untuk merangkai komponen-komponen struktural menjadi sistem struktur. Setiap bahan yang digunakan sebagai komponen struktural membutuhkan konstruksi yang spesifik. Pada perkembangan sistem struktur dan

konstruksi bambu, Widyowijanarko (2020), seorang arsitek dan pakar struktur dan konstruksi bambu di Indonesia, menjelaskan sistem klasifikasi struktur dan konstruksi bambu, yaitu konvensional dan substitutif (Gambar 5). Sistem konvensional yang dimaksud membagi teknik struktur dan konstruksi secara tradisional dan rekayasa (*engineered*) dengan menggunakan batang bambu utuh, sedangkan sistem substitutif merupakan sistem struktur bambu dengan konstruksi apa saja, namun dengan material batang bambu, batang bambu belah, laminasi, dan bambu dengan beton.

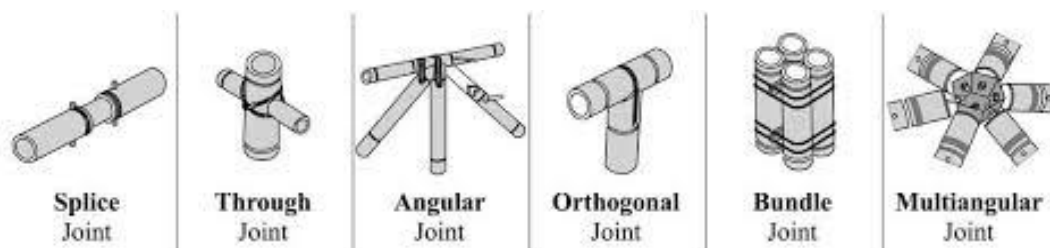


Gambar 5. Sistem klasifikasi konstruksi bambu oleh Andry Widyowijanarko.
Sumber: Diskusi daring Belajar dari Mereka (2020).

2.3. Konstruksi Bambu

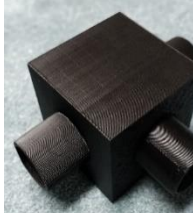
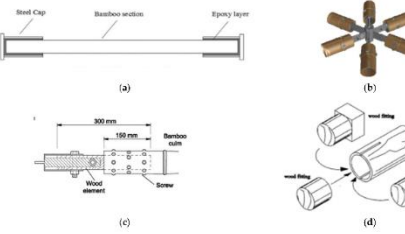
Rekayasa konstruksi bambu yang berkembang semakin modern memanfaatkan teknologi digital printing dalam mengeksplorasi desain yang paling efektif dan efisien. Beberapa desain sambungan bambu yang berkembang didokumentasikan dalam tabel 1. Perkembangan desain model sambungan pada dasarnya dikembangkan dari konstruksi tradisional bambu, yang telah banyak dicatat oleh Frick dalam bukunya Konstruksi Bambu, atau yang seringkali

digunakan dalam praktik dicatat oleh Wang, et al [6] (Gambar 6). Desain yang berkembang umumnya berupa suatu sambungan siku pejal untuk menyambungkan beberapa batang bambu, sambungan bola baja dengan pen baja yang ditanam ke dalam bambu menggunakan beton, sambungan tradisional bambu utuh dengan material modern dan sambungan modern yang sama sekali baru dan berbeda dari konstruksi tradisional pada umumnya (Tabel 1).



Gambar 6. Ragam konstruksi bambu yang banyak dipakai dalam praktik membuat struktur bambu.
Sumber: Wang et al, 2017.

Tabel 1. Ragam konstruksi bambu.

Sambungan siku pejal untuk menyambun beberapa batang bambu	 Aditya Trifaley Tools: MOST Delta RepRap or similar RepRap 3D printer Sumber: https://www.apropedia.org/Bamboo_Joints_for_house	 ABARI Sumber: http://abari.eart.h/mpp	 Asif Khan and Julia King Sumber: http://www.asifkhan.com/project/bamboo-silicone-jointing-system/	 Ben K. Sumber: https://www.instructables.com/Build-a-Bamboo-Bicycle-And-Light-it-up/	 P. Corroto dan V. Charlebois, 2018 Sumber: http://www.iaacblog.com/projects/lamps-and-joints/
Sambungan bola baja dengan pen baja yang ditanam ke dalam bambu menggunakan beton	 Andry Widyowijatnoko, 2015 Sumber: https://sappk.itb.ac.id/archives/10017	 Wang dan Hiziroglu, 2020 Sumber: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/5985/html			
Sambungan tradisional bambu utuh dengan material modern	 Kai Ming Yang, 2019 Sumber: https://www.designboom.com/design/bamboo-metal-joinery-kai-ming-yang-09-03-2019/				

Sambungan modern yang sama sekali baru	Robit Harip, 2017 Sumber: https://rohitharip.com/the-vertex S. Magrisso dan A. Zoran, 2019 Sumber: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03676-8_16
---	--

2.4. Rancangan Sistem Struktur Bambu untuk Lantai

Beberapa rancangan sistem struktur lantai menggunakan bahan bambu telah banyak dikembangkan untuk merespon permasalahan struktural bambu terhadap beban gempa. Dua bangunan dalam gambar 7 merupakan struktur bangunan yang dirancang untuk mengakomodasi hal tersebut [7] [8]. Dari kedua bangunan, struktur

lantai bangunan terdiri dari kolom, balok utama dan balok anak yang saling diikat menggunakan tali. Selain itu, dimensi kolom dapat menjadi besar karena terdiri dari beberapa batang bambu, sedangkan strategi pada bangunan lainnya yaitu dengan dimensi kolom yang lebih kecil terdiri dari satu batang bambu namun dengan perkuatan batang bambu yang didirikan horizontal sebagai *bracing*.



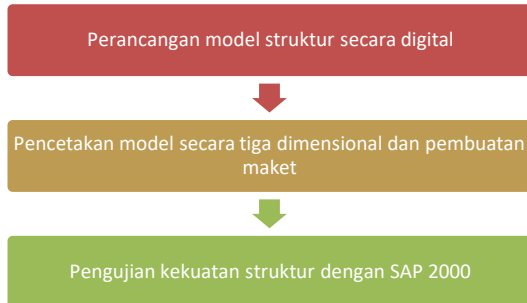
Gambar 7. Struktur bangunan sekolah Tipu Sultan Merkez (TSM) oleh Ziegert | Roswag | Seiler Architekten Ingenieure (2012) dan rumah tahan gempa rancangan Ramboll dan Grenzeloos Milieu serta University College London (UCL) (2018) di Lombok.
Sumber: lafargeholcim.com dan dezeen.com

3. Metodologi

Penelitian ini akan menghasilkan suatu model skalatis untuk konstruksi lantai panggung bambu yang akan digunakan sebagai alas tidur pengungsi. Hasil penelitian menekankan pada

eksplorasi model sambungan dan formasi komponen struktural pada sistem struktur. Penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap perancangan model struktur secara digital, dan analisis kekuatan model struktur (Gambar 8).

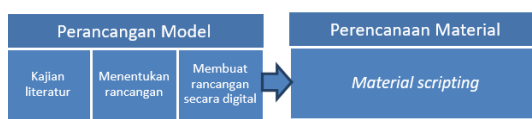
Rangkaian penelitian melibatkan simulasi secara digital di laboratorium dengan menggunakan perangkat lunak Google SketchUp dan teknologi pencetakan digital tiga-dimensi untuk membuat sambungan telah dirancang dengan bentuk dan ukuran yang khusus.



Gambar 8. Tahap penelitian sistem struktur lantai bambu untuk alas tidur pengungsi.

3.1. Tahap 1: Perancangan Model

Tahap perancangan model diawali dengan kajian literatur untuk mengeksplorasi bentuk-bentuk struktur lantai untuk tenda, struktur lantai panggung bambu, dimensi dan kekuatan berbagai jenis bambu, inovasi sambungan pada struktur bambu dan sistem atau mekanisme pencetakan model sambungan dengan teknologi digital printing. Hasil kajian rancangan struktur lantai dan inovasi sambungan didokumentasikan untuk dianalisis kelebihan dan kekurangannya sehingga dapat membantu peneliti untuk menentukan potensi kebaruan yang belum dieksplorasi (Gambar 9). Sementara itu, hasil kajian mekanisme teknologi digital printing diperlukan untuk tahap perencanaan penyiapan model yang siap untuk dicetak dan dirakit. Setelah kajian pustaka dilakukan, tim peneliti akan merancang suatu model sambungan pada struktur lantai panggung yang baru. Model struktur dan sambungan dirancang secara digital dengan skala material yang sebenarnya. Model terdiri dari komponen-komponen yang dapat disimulasikan pasang dan lepas. Setelah setiap komponen dalam model struktur dan konstruksi telah siap, tim peneliti merencanakan penyiapan material atau disebut material scripting, yaitu membuat tabel rekapitulasi kebutuhan jumlah komponen dengan spesifikasi ukuran tertentu untuk dirakit menjadi suatu model yang utuh. Selain itu, perencanaan juga mencakup urutan penyiapan material dan perakitan.



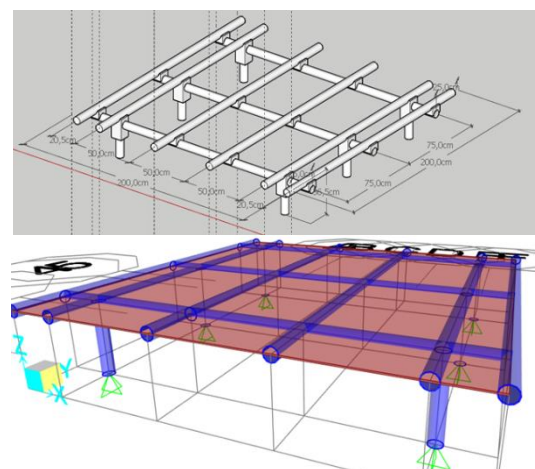
Gambar 9. Langkah-langkah dalam tahapan perancangan model dan perencanaan material.

3.2. Tahap 2: Pencetakan Model dan Pembuatan Maket

Tahap pembuatan model purwarupa bertujuan untuk menguji langkah-langkah perancangan dan perancangan telah urut dan sesuai dengan mekanisme fabrikasi digital printing serta menguji keterbangunan model. Produk yang diperoleh dari tahap ini berupa satu modul dari keseluruhan sistem struktur, yang terdiri dari komponen batang bambu dan satu sambungan. Komponen-komponen tersebut kemudian dirakit sedemikian sehingga dapat didirikan tanpa bantuan penyokong. Berbagai antisipasi yang komprehensif untuk membuat model awal yang paling optimal keberhasilannya, bagaimanapun, tidak terlepas dari berbagai kekurangan sehingga setelah uji coba awal ini, tim peneliti akan mengevaluasi, menganalisis, dan memperbaiki rancangan model dan tahapan pembuatan dari awal hingga akhir. Langkah ini perlu dilakukan untuk mencegah risiko kegagalan dan kerugian material yang besar terhadap keseluruhan model yang dirancang.

3.2. Tahap 3: Pengujian Model Struktur secara Digital

Metode yang digunakan dalam pengujian model ini adalah dengan menggunakan aplikasi SAP2000, dengan dasar gambar 3D yang dipindahkan ke dalam SAP2000 sebagai model grid (Gambar 10). Berikut adalah model 3D yang dijadikan acuan serta hasil model grid yang diterapkan pada SAP2000. model grid dibuat menyatu antar sambungan dan tidak terpisah seperti pada gambar model 3D adalah karena aplikasi SAP2000 hanya menguji model dasarnya saja dan hanya mengerti bahwa ada suatu “joint” yang menghubungkan antara frame namun tidak terpisah oleh elevasi sehingga aplikasi SAP2000 tidak mengerti model sambungan yang dimaksud.

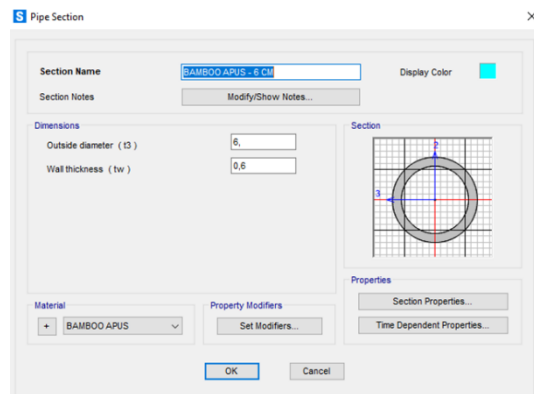


Gambar 10. Model 3D tanpa permukaan (*surface*) (atas) dan model 3D yang dibuat ulang di SAP 200 dengan *grid*.

Material yang digunakan dalam pengujian adalah Bambu Tali (*Gigantochloa apus Kurz*) yang data mekanisnya diambil dari penelitian yang dilakukan dari Institut Pertanian Bogor tahun 2017 dan berikut adalah nilai mekanisnya:

- Modulus Elastisitas (E): 118450,24 kg/cm²
- Kuat Tekan : 129,504 kg/cm²
- Kuat Tarik : 589,396 kg/cm²
- Kuat Geser : 25,4929 kg/cm²

Spesifikasi yang digunakan adalah material Bambu Tali dengan diameter 6 cm dan tebal 0,6 cm. berikut adalah gambar “Section Properties” yang digunakan (Gambar 11).



Gambar 11. Tampilan *Section Properties* material.

Pembebanan yang digunakan hanyalah beban mati saja karena diasumsikan struktur digunakan untuk pengungsi yang beristirahat diatasnya. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan sistem “Area Sections” untuk mendefinisikan struktur bilah bambu yang menjadi alas bagi pengungsi diatasnya dengan

menggunakan material yang sama. Pembebanan kemudian dikalikan 1,4 sesuai dengan SNI Pembebanan (SNI 1727:2013)

Asumsi beban yang digunakan maksimum adalah 300 kg. Beban ini diasumsikan merupakan sebuah keluarga yang terdiri dari dua orang dewasa dan dua orang anak-anak. Hasil *input* pembebanan pada SAP2000 adalah sebagai berikut:

$$A = 200 \times 200 = 40000 \text{ cm}^2$$

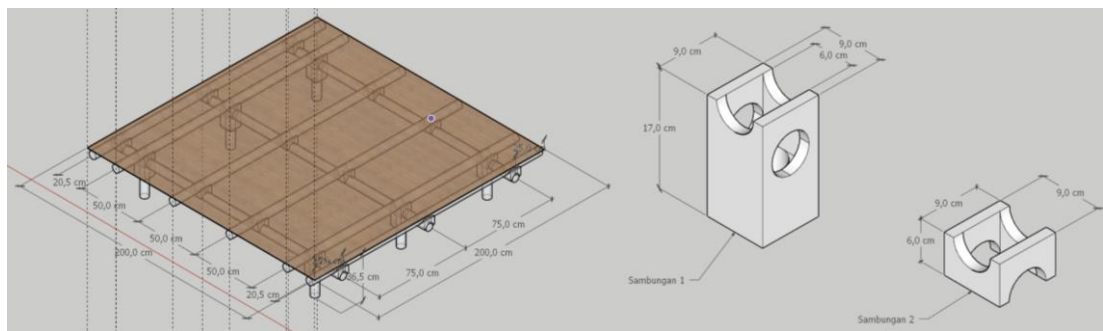
$$P = 300 \text{ kg}$$

$$\text{Beban Section } (P_s) = \frac{300}{40000} = 0,0075 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Rancangan Model Struktur Lantai

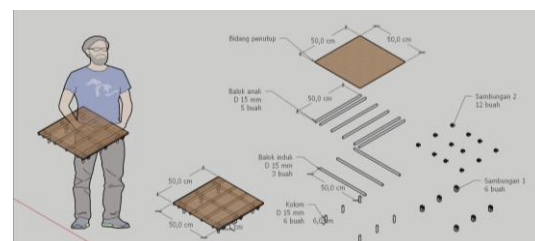
Rancangan sistem struktur dan konstruksi lantai panggung ini dibuat dengan ukuran sebenarnya 200 cm x 200 cm. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu tali (*Gigantochloa apus*) karena jenis bambu ini dapat ditanam di seluruh wilayah Indonesia, panen yang cepa antara 3 – 5 tahun, dan digunakan secara luas untuk pembuatan saung dan balai. Diameter bambu yakni antara 3 – 6 cm. Dalam rancangan ini, diameter bambu disimulasikan dengan diameter 6 cm. Sistem struktur menggunakan sistem portal. Formasi batang-batang bambu dibuat dengan dasar sistem struktur lantai panggung kayu yang terdiri dari kolom bawah, balok induk dan balok anak, serta bidang penutup lantai. Rancangan awal kemudian disempurnakan dengan menekankan pada model sambungan yang modular yang dikembangkan dari satu bentuk (Gambar 12). Satu bentuk kemudian dilakukan beberapa modifikasi dengan rotasi, dicerminkan dan digabungkan.



Gambar 12. Rancangan model sistem struktur lantai panggung bambu dan sambungan.

4.2. Model Maket Skalatis

Rancangan yang telah dibuat dengan skala yang sebenarnya kemudian diperkecil menjadi skala 25% atau 1:4 (Gambar 13). Dengan skala tersebut, maka bahan maket yang diperlukan adalah seperti pada tabel 4.

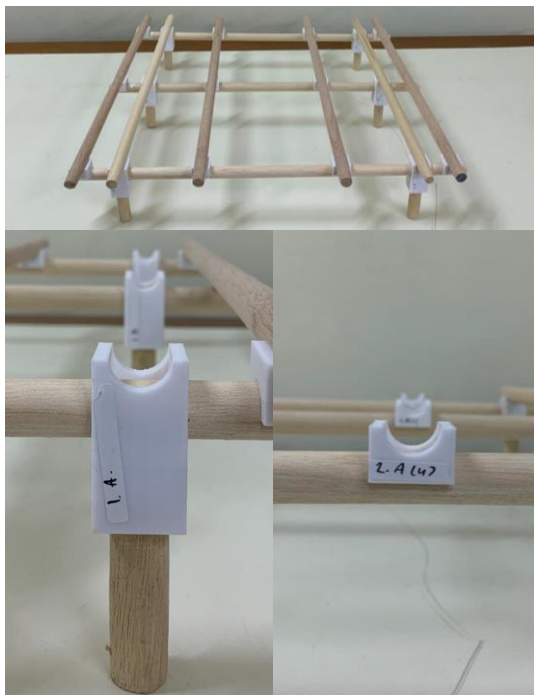


Gambar 13. Model 3D yang diskalakan 25%.

Tabel 4. *Material scripting* yang berisi kebutuhan material untuk maket.

Komponen	Bahan	Panjang	Jumlah
Kolom	Kayu	6 cm	6
Balok induk	balsa	50 cm	3
Balok anak	dowel D 15 mm	50 cm	6
Sambungan 1	PLA	(sesuai gambar detail)	6
Sambungan 2	PLA	(sesuai gambar detail)	12

Material kayu dowel yang telah dipotong kemudian dipasang pada sambungan yang telah dicetak. Namun, proses ini menghadapi kendala yaitu dimensi hasil cetak sambungan tiga dimensi tidak tepat presisi sesuai dengan yang telah dibuat dalam simulasi digital 3D, yakni lebih kecil dari yang dirancang. Untuk itu, diameter kayu dowel perlu disesuaikan dengan lubang sambungan yang telah dicetak. Hal ini tentunya menjadi catatan khusus, terutama pada skala sebenarnya nanti bambu yang terbentuk secara natural tidak seragam diameternya. Seluruh komponen kemudian dirangkai menjadi sistem struktur (Gambar 14).



Gambar 14. Maket sistem struktur yang telah dirangkai.

Bentuk penampang batang berupa lingkaran, sayangnya, lebih mudah membuat batang bergeser dari kedudukannya pada sambungan. Pada sambungan bambu

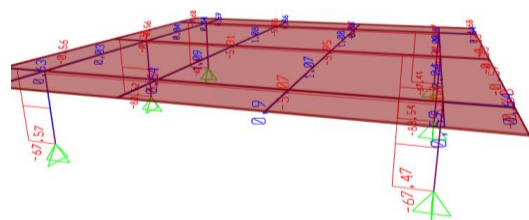
konvensional terdapat perkuatan yang umumnya berupa ikatan tali atau pasak. Untuk itu, antisipasi yang dilakukan terhadap model maket ini, perkuatan dilakukan dengan membuat ikatan pada sambungan dengan tali (Gambar 15).



Gambar 15. Sambungan yang diperkuat dengan ikatan tali.

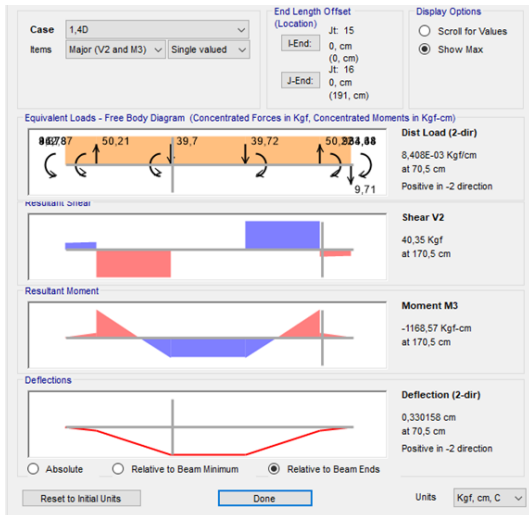
4.2. Analisis Kekuatan Model

Dari hasil pengujian menggunakan simulasi SAP2000, didapatkan bahwa gaya tekan maksimum yang terjadi pada struktur tersebut adalah $83,54 \text{ kg/cm}^2$ dengan gaya tariknya $1,09 \text{ kg/cm}^2$. Berikut adalah gambar beban aksial yang terjadi pada struktur (Gambar 16).



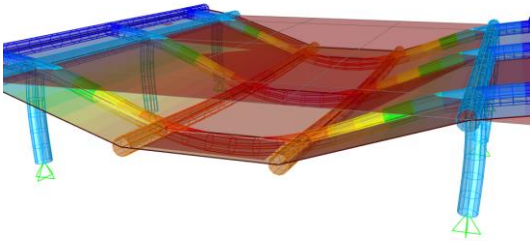
Gambar 16. Beban aksial pada struktur

Dari hasil pengujian juga didapatkan nilai geser positif sebesar 40,35 dan geser negatif sebesar 40,33 pada bidang vertikal serta didapatkan defleksi sebesar $0,330158 \text{ cm}$ yang masih aman sesuai dengan syarat SNI yaitu $L/300 \text{ cm}$ sehingga berdasarkan penghitungan tersebut didapatkan bahwa defleksi yang terjadi tidak melebihi $0,666 \text{ cm}$ (Gambar 17).



Gambar 17. Diagram momen dan diagram geser serta diagram defleksi pada struktur.

Berdasarkan hasil simulasi pada SAP2000 didapatkan bahwa struktur tersebut aman terhadap tekan dan tarik karena gaya aksial tekan tidak melebihi batas $129,504 \text{ kg/cm}^2$ yaitu $83,54 \text{ kg/cm}^2$ begitu pula dengan gaya aksial tarik yang tidak melebihi $589,396 \text{ kg/cm}^2$ yaitu $1,09 \text{ kg/cm}^2$. Dari hasil simulasi pula didapatkan bahwa struktur mengalami beban maksimum di bagian tengah struktur yang model perilakunya dapat dilihat pada gambar 18.

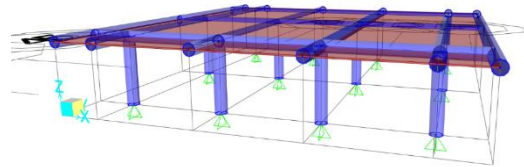


Gambar 18. Perilaku lendutan pada struktur.

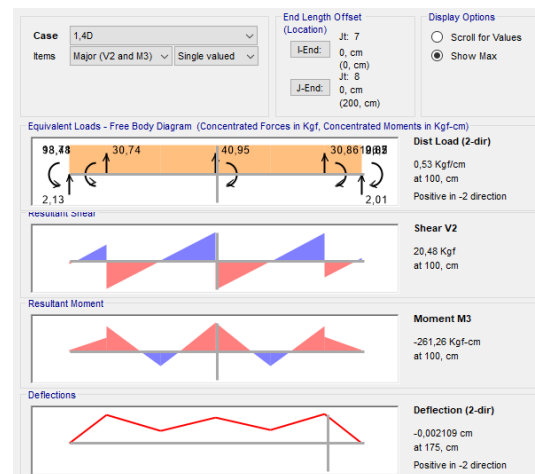
Namun, perlu dijadikan catatan bahwa struktur tersebut tidak aman terhadap lentur momen dan gaya geser karena pada gaya geser aktual terjadi adalah $40,35 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan nilai maksimum kuat geser bambu apus adalah $25,5 \text{ kg/cm}^2$, dan pada lentur momen terlihat dari perilaku struktural pada bagian tengah mengalami lentur yang cukup dalam hingga berwarna merah dan dari kedua hal tersebut, diperlukan penambahan sistem *support* seperti kolom pada bentang tengah struktur (Gambar 19).

Setelah diberikan tambahan *support* berupa kolom di bentang tengah struktur, kemudian dilakukan pengulangan pengujian simulasi dan didapatkan nilai gaya aksial tekan yang terjadi pada struktur yaitu $43,12 \text{ kg/cm}^2$. Nilai gaya aksial tarik yang terjadi pada struktur yaitu $0,56 \text{ kg/cm}^2$.

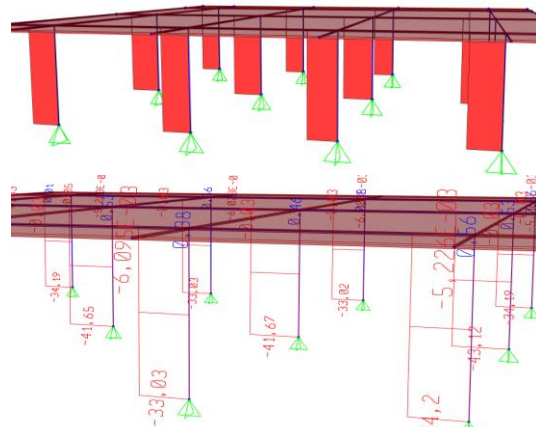
Sedangkan untuk nilai gaya geser yang terjadi adalah $20,48 \text{ kg/cm}^2$ pada sumbu vertikal dan $1,15$ pada sumbu horizontal kg/cm^2 . Nilai-nilai tersebut aman terhadap gaya aksial dan geser, serta aman terhadap defleksi dan nilai tersebut tidak melebihi batas SNI (Gambar 20 dan 21).



Gambar 19. Model struktur setelah diberikan tambahan kolom *support*.



Gambar 20. Diagram struktur setelah diberikan tambahan *support*.

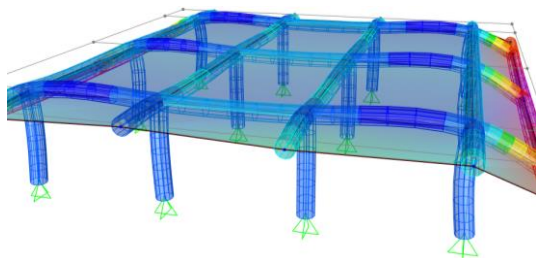


Gambar 21. Perilaku aksial pada struktur setelah diberikan tambahan *support*.

Beban dialirkan dari *surface* menuju ke batang (*beam*) dan berakhir ke kolom sehingga kolom menerima beban tekan dengan tanda warna merah sehingga ini menunjukkan nilai aksial tekan terjadi. Didapatkan bahwa pada tengah bentang sumbu y mengalami beban aksial yang lebih besar

karena pada sumbu y struktur hanya terdapat 2 baris kolom.

Gambar 22 menunjukkan bahwa dari pembebanan yang diberikan kepada struktur, didapatkan bahwa struktur tersebut menahan beban dengan sangat baik. Hal ini terlihat dari warna biru dan biru muda yang ditampilkan pada batang (*frame*) struktur. Namun, pengecualian terjadi pada bagian pinggir struktur yang berwarna ungu karena SAP2000 hanya dapat mengenali struktur dasar saja sehingga bagian pinggir dapat diabaikan karena seharusnya bagian tersebut berbeda elevasi yang dipisahkan dengan model sambungan khusus.



Gambar 22. Perilaku lendutan pada struktur setelah diberikan tambahan *support*.

5. Kesimpulan

Eksperimen membuat sistem struktur lantai dengan bahan bambu dan konstruksinya masih menemui kendala. Analisis yang dilakukan baik dengan media maket skalatis maupun secara digital masih sangat terbatas. Namun, dengan adanya maket struktur membuat pemahaman konstruksi lebih mudah diketahui secara teknis. Di sisi lain, analisis digital memungkinkan tim peneliti mengetahui kekuatan sistem struktur.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Institut Teknologi Indonesia melalui Dana Pengembangan Penelitian Perguruan Tinggi dengan nomor kontrak 004/KP/PRPM-PP/ITI/IV/2021. Ucapan terima kasih pula disampaikan kepada Aidah Nurul Hasanah, Rafi Zain dan Erni Susanti yang telah membantu proses penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] <https://fajar.co.id/2021/01/18/diguyur-hujan-pengungsi-tidur-dengan-pakaian-basah/>
- [2] <https://regional.kompas.com/read/2021/01/17/14422811/angin-kencang-landa-majene-tenda-pengungsi-beterbangan-korban-gempa-di-mana>
- [3] <https://www.tribunnews.com/regional/2017/03/18/cerita-korban-banjir-di-tenda-pengungsian-kalajengking-hingga-ular-pun-masuk-rumah?page=3>

- [4] Sato, K. (2014). Menghuni lumbung: beberapa pertimbangan mengenai asal-usul konstruksi rumah panggung di kepulauan Pasifik. *Antropologi Indonesia*. Diakses melalui <http://www.ijil.ui.ac.id/index.php/jai/article/view/3291/2578>
- [5] Pradipto, E., & Hamastuti, S. D. Konstruksi Lantai Bambu Bongkar Pasang Bentang Panjang Untuk Mitigasi Bencana.
- [6] Wang, Tsung-Hsien, Trujillo, Olivia Espinosa, Chang, Wen-Shao and Deng, Bailin 2017. Encoding bamboo's nature for freeform structure design. *International Journal of Architectural Computing* 15 (2), pp. 169-182. Diakses melalui <https://orca.cf.ac.uk/102214/1/IJAC%20-%20Encoding%20Bamboo%20Nature%20or%20Freeform%20Structure%20Design%20-%20Postprint.pdf>.
- [7] <https://www.lafargeholcim-foundation.org/media/news/projects/locally-manufactured-cob-and-bamboo-school-building?show=26cb6ac8-40ee-4392-b267-cb5ca94f2cc9>
- [8] <https://www.dezeen.com/2019/12/31/bamboo-template-houses-ramboll-earthquake-indonesia/>