
BAMBU SEBAGAI MATERIAL BERKELANJUTAN ERBA (EARTHQUAKE-RESISTANT BAMBOO ARCHITECTURE)

Mattin Kusuma Bhudi

Program Studi Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya
mattin.kusuma.bhudi-2020@ft.um-surabaya.ac.id

Fibria Conytin Nugrahini

Program Studi Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya
fibriaconytinugrahini@ums.ac.id

Zuraida

Program Studi Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya
zuraida.aiz@gmail.com

Rofi'i

Program Studi Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya
kangrofi@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki kondisi geografis kepulauan dan dilewati oleh kawasan *ring of fire*, sehingga sering terjadi bencana gempa bumi. Dengan demikian kondisi tersebut memerlukan penerapan rancangan bangunan tahan gempa. Seperti yang diterapkan pada gempa yang terjadi di Lombok Utara. Dengan menerapkan bangunan tahan gempa RISHA (Rumah Instan Sederhana Sehat) dengan material beton *pre-fabrikasi*. Namun, muncul berbagai persoalan utamanya penolakan rumah dengan sistem tersebut dikarenakan masyarakat memiliki trauma terhadap bangunan dengan material beton. Berdasarkan permasalahan tersebut didapati bahwa rumah dengan sistem RISHA dinilai kurang diminati, sehingga masyarakat meminta diberikan dana untuk membangun rumah sendiri menggunakan material lokal. Material lokal yang digunakan ialah bambu. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif khususnya menganalisis data hasil observasi, wawancara dan didukung oleh analisis deskriptif dari studi literatur serta metode kuantitatif untuk menguji hasil analisis data kualitatif dengan uji coba material bambu dan struktur bangunan dengan material bambu, untuk mencari solusi dari permasalahan tersebut. ERBA (Earthquake-Resistant Bamboo Architecture) merupakan sebuah metode yang dapat diimplementasikan dengan parameter seperti jenis material, standar struktur, kondisi lokasi penelitian dan potensi gempa sehingga mendapatkan hasil yang lebih sesuai dengan kebutuhan yang ada pada lokasi. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah metode rancangan ErBa sebagai solusi kebutuhan rumah tahan gempa yang murah dan mudah.

KATA KUNCI: material, bambu, struktur bangunan, ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*)

Indonesia has an archipelagic geographical condition and is passed by the ring of fire area, so earthquakes often occur. Thus, these conditions require the application of earthquake-resistant building designs. As applied to the earthquake that occurred in North Lombok. By applying earthquake-resistant buildings RISHA (Rumah Instan TSimple Sehat) with pre-fabricated concrete materials. However, there are various problems, mainly the rejection of houses with the system because the community has trauma to buildings with concrete materials. Based on these problems, it was found that houses with the RISHA system were considered less desirable, so the community asked for funds to build their own houses using local materials. The local material used is bamboo. This research uses qualitative methods, especially analyzing observational data, interviews and is supported by descriptive analysis of literature studies and quantitative methods to test the results of qualitative data analysis by testing bamboo materials and building structures with bamboo materials, to find solutions to these problems. Erba (Earthquake-Resistant Bamboo Architecture) is a method that can be implemented with parameters such as material type, structural standards, research site conditions and earthquake potential so as to get results that are more in line with the needs of the site. The result of this research is a method designed by ERBA as a solution to the needs of earthquake-resistant houses that are cheap and easy.

KEYWORDS: material, bamboo, building construction, ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*)

PENDAHULUAN

Negara Indonesia memiliki kondisi geografis berupa kepulauan yang diapit oleh dua lempeng kerak bumi aktif Asia dan Australia dan dilewati oleh kawasan pegunungan aktif (*Ring of Fire*), sehingga memiliki

potensi bencana yang sangat tinggi utamanya gempa bumi hingga gunung meletus. Hal ini patut dijadikan perhatian karena pada kurun waktu 10 tahun, peristiwa bencana alam yang terjadi akibat aktivitas pergerakan lempeng kerak bumi atau gunung berapi

aktif menjadi salah satu bencana alam dengan tingkat kerusakan hingga korban jiwa yang tinggi.

Pada kasus gempa yang terjadi di Kabupaten Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. Berdasarkan data BMKG (14 Agustus 2018) terjadi 640 kali gempa susulan sejak gempa utama dengan kekuatan 7.0 SR 5 agustus 2018. Dari 640 kali gempa susulan terdapat 24 kali gempa tercatat dengan kekuatan 3.0 SR – 6.2 SR pada kedalaman 10-25 Km. Dengan demikian pencegahan atau mitigasi terhadap potensi bencana perlu digalakkan utamanya sebelum terjadinya bencana agar dapat meminimalisir kerugian materiil ataupun korban jiwa. Kualitas dari sebuah struktur bangunan menjadi kunci penting untuk meminimalisir korban jiwa akibat runtuhnya bangunan utamanya pada bangunan tempat tinggal. Sebagai contoh rumah dengan sistem RISHA (Rumah Instan Sederhana Sehat) yang merupakan salah satu produk unggulan dari Puslitbang Perumahan dan Permukiman Indonesia. Terbuat dari susunan panel-panel beton bertulang pra-cetak, yang dihubungkan dengan baut dengan *system knock down* atau sistem bongkar pasang (RISHA (Rumah Instan Sederhana Sehat), 2019). Sistem RISHA ini memiliki ketahanan terhadap resiko gempa sampai dengan Zona 6, sistem ini sudah diterapkan di beberapa lokasi bencana termasuk pada saat gempa bumi yang terjadi di Lombok Utara tahun 2018.

Beberapa masalah yang muncul yakni, masyarakat penyintas bencana gempa bumi di Lombok menolak jika dibangun rumah kembali dengan sistem RISHA dikarenakan masyarakat mengalami trauma terhadap bangunan dengan material beton. Masyarakat meminta dibangun rumah dengan material lokal seperti kayu dan bambu atau diberikan bantuan uang supaya masyarakat dapat membeli material untuk membangun rumah secara mandiri. Hal ini didasarkan pada pengalaman masyarakat melihat rumah yang dibangun menggunakan material lokal seperti kayu atau bambu lebih bisa bertahan pada saat peristiwa gempa bumi terjadi. Selain hal tersebut faktor biaya dan juga modular sistem RISHA terbatas serta terkesan memiliki bentuk yang kaku, memerlukan tenaga SDM yang sudah terlatih. Bila sistem ini akan diadopsi secara masal untuk bangunan rumah tinggal sebagai salah satu solusi penanganan dini gempa bumi, masyarakat akan merasa terbebani dengan biaya dan juga SDM yang terbatas.

Berdasarkan permasalahan diatas pemanfaatan bambu sebagai material bisa menjadi solusi terbaik, dengan memanfaatkan material lokal yang mudah untuk diolah secara mandiri oleh masyarakat dan lebih cepat dalam proses pembangunan. Seperti, material kayu yang sering digunakan menjadi material untuk membangun rumah. Namun pada dasarnya sekarang material kayu mulai susah dicari dikarenakan persediaan kayu mulai terbatas akibat penebangan

hutan yang tidak diimbangi dengan penanaman kembali agar siklus kayu terjaga. Material lokal yang lebih mudah didapatkan dan mudah untuk dikembangkan yaitu bambu. Bambu merupakan salah satu material yang memiliki kekuatan mirip dengan kayu. Namun memiliki siklus yang lebih singkat serta proses untuk penanaman lebih mudah dikarenakan bambu memiliki tingkat adaptasi yang tinggi.

Penerapan material bambu tidak hanya akan memberikan solusi terkait rumah tahan gempa yang murah namun juga mendukung dalam proses mitigasi pasca bencana. Kebutuhan akan rumah atau tempat tinggal menjadi hal terpenting selain ketersediaan bahan pokok, pakaian dan obat-obatan. Pembangunan atau pemanfaatan bambu melalui ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*) dapat memberikan solusi akan kebutuhan rumah tinggal, sehingga aktivitas masyarakat lebih cepat menuju pemulihan. Pada penerapannya selain menjadi solusi cepat pemenuhan kebutuhan akan rumah tinggal, namun juga penataan lingkungan baru sebagai media pemulihan trauma. Pemanfaatan material bambu ini, perlu adanya penyeimbangan dengan sisi ketersediaan bambu. Tanpa adanya keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan bambu akan menjadi sebuah masalah yang akan datang di masa depan. Maka dari itu penerapan ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*) perlu dikaji sebagai salah satu solusi untuk mencapai pembangunan rumah tinggal tahan gempa yang merupakan tindak lanjut dari mitigasi daerah potensi bencana.

Penggunaan bambu pada ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*) sebagai solusi rumah tinggal tahan gempa, memerlukan perhatian khusus terutama pada pemilihan jenis hingga usia bambu, proses pengawetan sebelum digunakan untuk menjaga kualitas. Selain itu diperlukan penelitian terhadap material bambu untuk mengetahui batas kemampuan material bambu dan model struktur yang sudah diterapkan apakah mampu bertahan pada pembebanan gempa yang disimulasikan melalui aplikasi SAP 2000 v21.

Hasil simulasi nantinya akan digunakan untuk menunjukkan apakah model ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*) dapat bertahan dalam kondisi geografis Indonesia utamanya pada lokasi penelitian yang memiliki potensi gempa bumi tinggi. Sehingga diharapkan model struktur bangunan dari material bambu ini menjadi solusi sekaligus mitigasi dan pencegahan dini akan potensi bencana gempa yang akan terjadi di kemudian hari.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka dapat dirumuskan permasalahan yang perlu dipecahkan sebagai berikut:

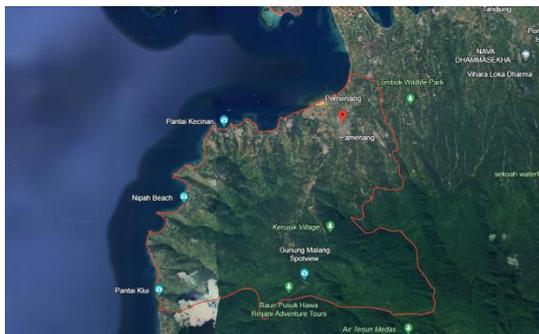
- Bagaimana pemilihan bambu yang dapat dimanfaatkan sebagai material bangunan rumah

tinggal ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*)?

- Bagaimana proses pengawetan bambu pada ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*)?
- Bagaimana model dan ketahanan struktur ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*) berdasarkan hasil simulasi terhadap potensi gempa di Lombok Utara?

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di salah satu lokasi terdampak bencana gempa bumi Lombok pada tahun 2018 silam. Tepatnya di Dusun Karang Subagan Daya, Pamenang Barat, Kecamatan Pamenang, Kabupaten Lombok Utara, NTB dengan luas area berkisar 5000 m² (Peta Pamenang Lombok Utara, 2023). Kondisi tanah sedikit berkontur dikarenakan dekat dengan pegunungan Rinjani dan dekat dengan pesisir pantai.



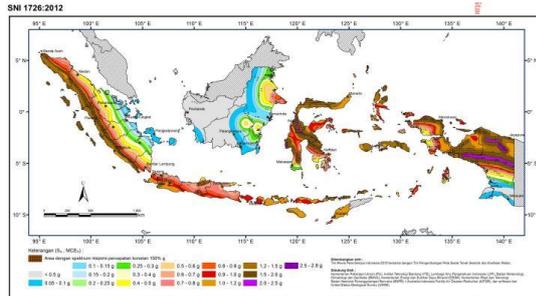
Gambar 1. Gambaran Site dari Citra Satelit (Sumber : earth.google.com, diakses pada 15 November 2023)

Area penelitian merupakan lokasi permukiman warga yang terdampak bencana sekaligus tempat penampungan warga pasca bencana sehingga drainase atau sistem pembuangan air, jalur listrik dan air PDAM. Selain itu terdapat sumber air tanah berupa sumur tua di area lahan produktif. Sarana dan prasarana utilitas yang cukup lengkap, ditambah dengan keberadaan Yayasan dan Gor bulu tangkis di area selatan site.



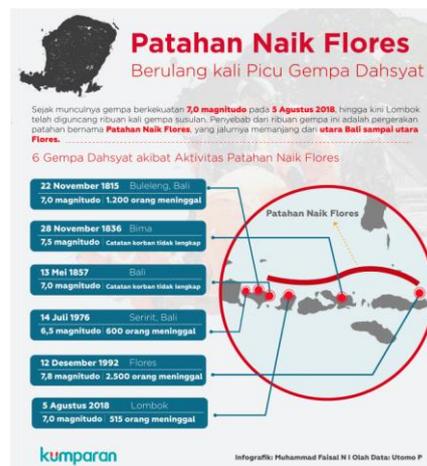
Gambar 2. Luas Area Penelitian dari citra satelit (Sumber : earth.google.com, diakses pada 15 November 2023)

Merujuk pada (Badan Standardisasi Nasional, 2012) Kabupaten Lombok Utara memiliki tingkatan potensi gempa yang cukup tinggi dengan intensitas yang cukup rapat.



Gambar 3. Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCEr) Kelas situs SB (Sumber: SNI 1726: 2012,2023)

Potensi tersebut disebabkan oleh sesar Lombok yaitu, patahan antara lempeng Australian yang bertemu dengan patahan naik Flores sehingga pergerakan tersebut memicu gempa besar seperti yang terjadi pada 2018. Dalam *A Dictionary of Geography* yang disusun oleh Susan Wayhem, patahan atau sesar (*fault*) didefinisikan sebagai permukaan yang retak di lapisan kulit bumi sehingga satu blok batuan bergerak relatif terhadap blok lain. Daryono memaparkan, Patahan Naik Flores atau Sesar Naik Flores (*Flores Back Arc Thrust*) ini adalah struktur geologi yang terbentuk akibat penunjaman Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia.



Gambar 4. Gempa besar yang terjadi akibat patahan flores (Sumber : <https://kumparan.com/>, diakses pada 10 November 2023)

Tercatat Sejak tahun 1815 hingga 2018 peristiwa gempa besar yang terjadi akibat aktivitas patahan naik flores. Dengan kekuatan gempa tersebar berada pada 7,8 Magnitudo dengan panjang siklus antara 11-26 tahun akan terjadi gempa dengan kekuatan yang besar (Utomo Pryambodo, 2018).

Bambu Sebagai Material Tahan Gempa

Menurut (Sharma, 1987) tercatat lebih dari 75 negara dan 1250 spesies bambu yang ada di dunia. Bambu merupakan salah satu jenis material alami yang memiliki masa jenis yang ringan, kuat tarik yang tinggi serta kuat lentur yang tinggi (Widyowijatnoko, 2021) Sifat bambu ringan dan lentur pada bambu membuat konstruksi bambu tahan terhadap gaya gempa dan mudah diperbaiki.

Selain itu bambu juga merupakan salah satu hasil alam yang memiliki sifat *renewable* dapat diperoleh dengan mudah, murah, dan memiliki pertumbuhan yang cepat. Ketersediaan bambu yang melimpah dan tersebar di setiap wilayah di Indonesia, membuat bambu telah menjadi bagian dari kehidupan masyarakat sejak berabad-abad lalu. Material bambu dalam konstruksi bangunan memiliki potensi kekuatan, kekakuan dan keamanan yang dapat disejajarkan dengan baja, beton dan kayu (Handoko et all).

Bentuk bambu yang menyerupai pipa dengan jarak tertentu terdapat buku-buku dengan dinding antar sekat ruas bambu. Bambu tidak mempunyai elemen-elemen sel radial seperti pada kayu, pada bagian luar dan dalam batang bambu ditutupi oleh suatu kulit keras (kutikula).

Menurut (Yap, 1969) pengujian atas sifat bambu biasanya meliputi tarikan, tekanan dan modulus kenyal (kelenturan) dengan hasil sebagai berikut :

- Kekuatan Tarik : (tegangan patah untuk tarikan) sekitar 1000-4000 kg/cm²
- Kekuatan Tekan : (tegangan patah untuk tekanan) sekitar 250-1000 kg/cm²
- Modulus kenyal (kelenturan) : (tegangan tarikan) sekitar 100.000-300.000 kg/cm²

Hasil uji dari setiap jenis bambu memiliki hasil yang berbeda dan hanya terdapat beberapa bambu yang memiliki kekuatan yang baik dan cocok untuk digunakan sebagai struktur pada bangunan. Pada penelitian sifat mekanik pada material bambu ini akan menjadi dasar penentuan spesifikasi serta bentukan struktur pada rumah tahan gempa.

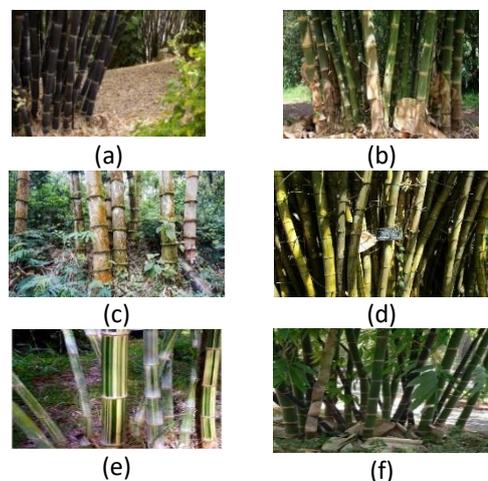
Jenis-jenis Bambu untuk Struktur Bangunan

Di Indonesia setidaknya terdapat kurang lebih 75 jenis bambu, namun yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi hanya sekitar 10 jenis saja jelas Sutiyono, 2006 dalam (Artiningsih, 2012). Jenis-jenis bambu yang sering digunakan untuk struktur bangunan antara lain, bambu wulung, bambu petung, bambu ampel, bambu gombang, bambu apus dan bambu legi. Beberapa jenis bambu tersebut memiliki daya tekan dan daya tarik yang tinggi serta dimensi yang cukup besar. Bambu tersebut memiliki karakteristik sebagai berikut (Arifa, 2022):

- Bambu Wulung (*Gigantocchloa atroviolacea*) memiliki karakteristik berwarna hitam pekat dan

dapat tumbuh hingga 15 meter dengan diameter 6-8 cm. Jenis bambu ini banyak dimanfaatkan untuk struktur rangka atap.

- Bambu Legi (*Gigantochloa atter*) dapat tumbuh hingga 16 meter dengan diameter sama seperti pada bambu wulung. Jenis bambu ini banyak dimanfaatkan sebagai struktur bangunan, rangka dinding dan pagar.
- Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) termasuk kedalam bambu besar, karena memiliki diameter sekitar 20-25 cm dan tinggi mencapai 20m. Dengan karakteristik warna hijau dan kerap terdapat totol putih muncul dari jamur liken (lumut kerak). Pemanfaatan bambu jenis ini banyak digunakan untuk konsruksi skala besar seperti, jembatan, rumah, pembuatan perahu, dll.
- Bambu ampel (*Bambusa vulgaris*) hal menarik pada jenis ini ialah sering dijadikan sebagai tanaman hias di perkotaan. Lebih tepatnya pada sub spesies bambu kuning dan bambu gading. Bambu ampel dapat tumbuh hingga 20 m dengan diameter maksimal 10 cm. Jenis bambu ini banyak digunakan sebagai struktur penopang atau tiang bangunan.
- Bambu Gombang (*Gigantochloa pseudoarundinacea*) memiliki warna hijau bergaris kuning. Dengan panjang maksimal mencapai 15 m, jarak antar ruas 30-44 cm dengan diameter 2-10 cm.
- Bambu Apus (*Gigantochloa apus*) memiliki karakteristik berwarna hijau dengan bulu miang coklat dan hitam. Buluhnya lurus dengan tinggi mencapai 22 m, panjang ruang 20-60 cm dan diameter 4-15 cm.pemanfaatannya lebih banyak sebagai bahan perabot dan tali pada sambungan bambu.



Gambar 5. (a)Bambu Wulung, (b)Bambu Legi, (c)Bambu Petung, (d)Bambu Ampel, (e)Bambu Gombang, (f)Bambu Apus/Tali

(Sumber: <https://www.goodnewsfromindonesia.id/>, diakses pada 15 November 2023)

Pemilihan dan Pengawetan Material Bambu

Dalam proses pemanfaatan bambu sebagai material tentunya memiliki persyaratan yang harus terpenuhi. Sehingga kualitas dari material bambu ini dapat terjamin. Proses pemanfaatan tidak hanya sekedar dilakukan setelah bambu di potong atau ditebang namun pada saat pemilihan bambu juga menjadi kunci kualitas bambu tersebut. Menurut (Artiningsih, 2012) beberapa kriteria yang perlu dipenuhi, ialah:

- Usia bambu yang telah cukup matang (tua) berkisar 4-5 tahun, dengan ciri warna kuning atau hijau tua.
- Terdapat bintik putih pada pangkalnya biasanya disebabkan oleh jamur.
- Memiliki serat yang padat dengan permukaan yang mengkilat
- Pada bagian buku bambu tidak boleh terdapat retakan atau pecah

Setelah bambu dengan kualitas terbaik didapatkan maka masih diperlukan kembali proses pengawetan terhadap potongan bambu sebelum digunakan menjadi material bangunan. Proses tersebut ialah pengawetan bambu, pengawetan bambu bertujuan untuk menggantikan getah atau kandungan sari pati bambu dengan cairan lain sehingga hama kumbang bubuk dan rayap tidak akan menyerang bambu yang telah diawetkan.

Dalam proses pengawetan terdapat dua macam cara untuk melakukan pengawetan, yaitu dengan mekanisme tradisional dan juga mekanisme modern dengan penambahan cairan kimia. Sedangkan metode yang biasa digunakan berupa perendaman, pengasapan ataupun perebusan metode ini biasanya memerlukan waktu yang cukup lama sekitar 1 bulan. Namun pada saat ini waktu pengawetan dapat dipangkas lebih pendek dengan menggunakan campuran senyawa cairan kimia boraks boric dengan konsentrasi minimal 6% dan maksimal 10%. Dengan metode perebusan bambu atau *Vertical Soak Diffusion*.



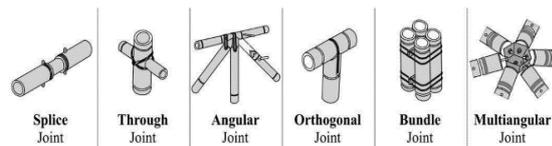
Gambar 6. Pengawetan bambu metode Vertical Soak (Sumber : Suriani, 2018)

Penerapan Material Bambu Pada Konstruksi

Pada prinsipnya penerapan atau penggunaan bambu sebagai konstruksi sangatlah familiar bagi masyarakat Indonesia, baik sebagai material pendukung maupun

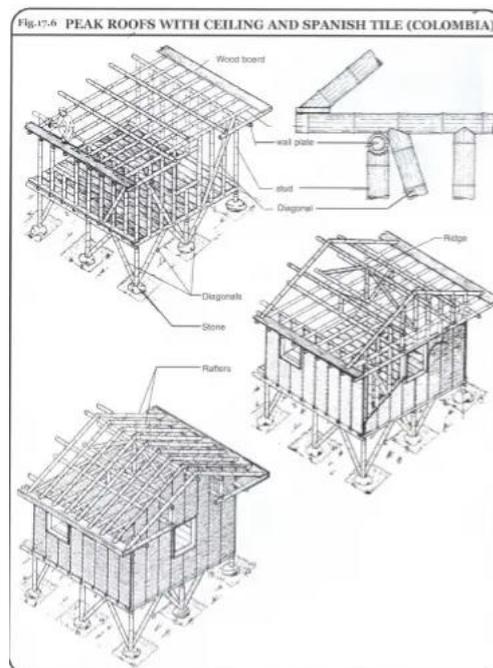
material utama sebuah konstruksi bangunan. Hal tersebut dapat banyak ditemukan pada masyarakat pedesaan. Dimana penerapan material bambu sebagai konstruksi masih menggunakan metode sederhana dengan mengandalkan model sambungan sederhana yang dipelajari turun temurun seperti layaknya kayu. Yang kemudian diperkuat menggunakan paku atau pasak dari bambu itu sendiri dan ikatan tali ijuk atau semacamnya untuk memperkuat sambungan bambu.

Meskipun menggunakan konstruksi sederhana bangunan atau konstruksi menggunakan material bambu lebih resistant terhadap beban gempa dari pada bangunan beton, hal ini dikarenakan fleksibilitas sambungan pada konstruksi bambu yang dapat bergerak mengikuti arah gerakan getaran gempa bumi. Adapun beberapa tipe sambungan salam struktur atau konstruksi bambu dapat dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 7. Ragam konstruksi bambu yang banyak dipakai dalam praktik membuat struktur bambu. (Sumber : Wang et all, 2017)

Penerapan tipe sambungan pada gambar 7 sangat bervariasi serta model sambungan ditentukan pada bagian mana struktur ini akan digunakan. Selain itu setiap sambungan memiliki teknik atau model potongan yang berbeda.



Gambar 8. Contoh penerapan material bambu pada konstruksi bangunan (Sumber: Hidalgo Lopez, 2003)

Secara harfiah pembangunan konstruksi dengan metode konvensional atau tradisional sudah memiliki ketahanan terhadap gempa yang cukup baik. Namun seiring berjalannya waktu kekuatan struktur akan melemah. Hal tersebut diakibatkan oleh melemahnya ikatan tali dan paku atau pasak pada sambungan bambu yang mulai rusak. Sehingga perlu adanya perawatan untuk menjaga kondisi kekuatan konstruksi.

Berdasarkan hal tersebut pada masa sekarang ini sudah banyak metode sambungan yang sudah berkembang menggunakan plat baja dan juga mur baut. Selain itu sudah ada model sambungan dengan sistem modular dengan menerapkan prinsip sambungan spaceframe.



Gambar 9. Sambungan bambu modern dengan penggunaan material baja sebagai perkuatan sambungan (Sumber : rwth-aachen, 2002)

Sebagai contoh gambar 10 yang merupakan gambar dari perpustakaan negara di Nepal yang merupakan gudang buku dan arsip penting negara. Kamal Maharjan arsitek proyek ABARI menambahkan penggunaan bambu menjadi pilihan karena mampu secara efektif bertahan pada zona gempa yang tinggi (Abari, 2015).



Gambar 10. Modular sambungan bambu MPP (Madan Puraskar Pustakalaya) (Sumber : <https://abari.earth/mpp>, diakses pada 18 November 2023)

Struktur Tahan Gempa

Bangunan dapat dikatakan tahan gempa apabila saat terjadi gempa struktur dari bangunan tidak langsung mengalami kerusakan (kerusakan fatal) sehingga dapat memberikan waktu yang cukup bagi pengguna bangunan dapat menyelamatkan diri.

Sebagai syarat struktur bangunan tahan gempa diharuskan untuk memenuhi kriteria-kriteria yang telah diatur dalam standar bangunan tahan gempa

sesuai dengan resiko gempa pada lokasi terbangunnya.

Kriteria bangunan struktur bangunan tahan gempa diantaranya :

- Mampu menahan gempa dengan resiko ringan dan tidak mengalami kerusakan.
- Jika gempa dengan resiko sedang dan kerusakan yang dialami hanya sebatas kerusakan non-struktural bangunan.
- Jika terkena gempa dengan resiko berat pada struktural utama mampu menaha bangunan agar tidak roboh meskipun mengalami kerusakan.

Apabila merujuk pada ketentuan standar (Badan Standarisasi Nasional, 2019) mengenai kategori resiko gempa berdasarkan pada tingkat kerugian atau dampak yang disebabkan oleh gempa bumi. Pengkategorian tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perterrakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pemukiman - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran 	II
<ul style="list-style-type: none"> - Gedung apartemen/ Rumah susun - Pusat perbelanjaan/ Mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III
Gedung dan struktur lainnya, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	
Gedung dan struktur lainnya yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran. 	
Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur saluran listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV
Gedung dan struktur lainnya yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Gambar 11. Tabel kategori resiko struktur gedung berdasarkan potensi yang diakibatkan (Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Dengan berdasarkan pada pengertian serta kategori resiko struktur tahan gempa. Pada masa saat ini sudah ada metode struktural bangunan yang diterapkan yang menjadi mitigasi ketika terjadinya peristiwa gempa bumi. RISHA merupakan sebuah bangunan yang menerapkan sistem tahan bangunan

dengan metode *knock down* dengan material prefabrikasi dari beton.

Namun selama penerapan yang dilakukan masih banyak menimbulkan problem di masyarakat. Dimulai dari penerapan yang memerlukan kualitas SDM yang harus mumpuni dan juga proses yang harus melalui fabrikasi yang tentunya tidak seluruh masyarakat mampu untuk membantu penerapan hal tersebut secara masif. Dan tentunya penanganan akan potensi gempa ini harus dilakukan tidak hanya pasca bencana namun juga sebelum terjadinya bencana sebagai upaya mitigasi yang optimal.

Atas dasar hal tersebut tentunya perlu adanya material lokal yang mampu dikerjakan oleh SDM yang ada dan juga terjangkau bagi masyarakat salah satunya ialah material bambu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif khususnya menganalisis data hasil observasi, wawancara dan didukung oleh analisis deskriptif dari studi literatur serta metode kuantitatif untuk menguji hasil analisis data kualitatif dengan uji coba material bambu dan struktur bangunan dengan material bambu. Data hasil observasi, wawancara, uji material, uji struktur bangunan akan disinkronisasi dengan studi literatur yang didapat dari buku, jurnal, dan internet. Data kemudian akan diproses dan di analisis. Kesimpulan dari hasil analisis akan menjadi dasar dari pembuatan konsep rumah tahan gempa ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*).

Pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer didapat dari hasil observasi dan data uji material serta struktur bangunan dengan material bambu. Subjeknya adalah masyarakat penyintas bencana gempa bumi Lombok tahun 2018. Dan objek yang diteliti ialah material bambu dan juga struktur bangunan yang menggunakan material bambu. Setelah mendapatkan data primer, dilakukan studi literatur atau studi keperpustakaan, untuk mencari data dan teori mengenai material bambu dan juga struktur bangunan tahan gempa.

Aspek Penelitian

Aspek penelitian merupakan aspek yang digunakan untuk mengetahui karakteristik bambu sebagai material struktur bangunan tahan gempa dan menyusun konsep model rancangan struktur bangunan (rumah tinggal) tahan gempa. Aspek ini didapatkan melalui kajian teori pada bab sebelumnya. Pengumpulan data observasi digunakan untuk menyesuaikan objek penelitian agar sesuai dengan sasaran yang telah ditentukan. Yang kemudian diproses melalui hasil rancangan dan pengetesan pada aplikasi untuk menemukan parameter yang pasti.

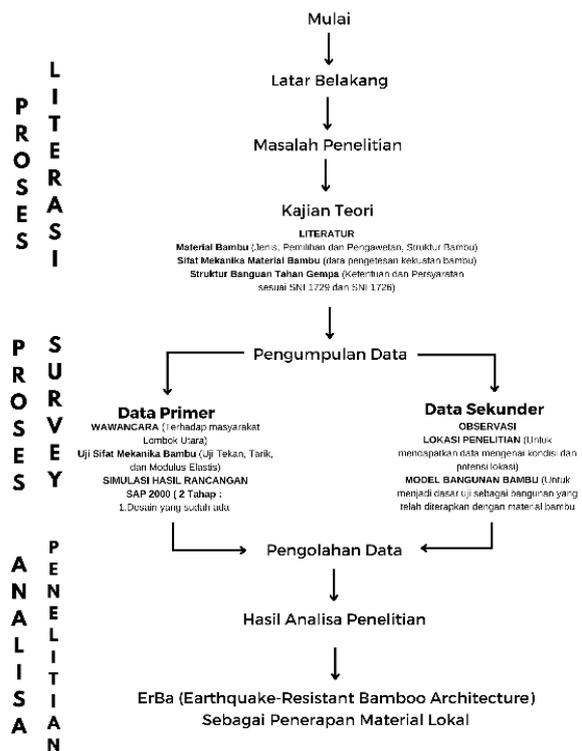
Aspek penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Teori, Sasaran Penelitian dan Aspek Penelitian

	Sasaran Penelitian	Aspek Penelitian
Material Bambu (Hidalgo-Lopez, Oscar. (2003))	Menerapkan material bambu sebagai material pengganti beton	Jenis, Pemilihan, Treatment, dan Teknik Sambungan Bambu untuk struktur
Struktur Bangunan Tahan Gempa (SNI 1729:2019) Potensi Gempa pada Site (SNI 1726:2012)	Mengetahui kriteria dan syarat rancang bangun tahan gempa	Spesifikasi Bahan, Ketahanan Struktur, Klasifikasi tipe bangunan
ErBa (<i>Earthquake-Resistant Bamboo Architecture</i>)	Hasil penelitian terhadap rumah dengan material bambu terhadap potensi gempa	Bentuk, Konsep, dan Rancangan

Sumber: Analisis Penulis,2023

Diagram Penelitian



Gambar 13. Diagram Alir Proses Penelitian (Sumber : Analisis Penulis,2023)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Sifat Mekanika Material Bambu

Berdasarkan pada hasil uji coba terhadap sifat mekanik beberapa jenis bambu yang sering digunakan sebagai struktur bangunan seperti bambu wulung, bambu petung, bambu legi dan bambu ampel. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastis (E), *poisson's ratio* (U), *coefficient of thermal expansion* (A). Menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Sifat Mekanika Material Bambu

Jenis Bambu	Bambu Gombong	Bambu Apus/Tali	Bambu Petung
Massa Jenis (gr/cm³)	0,55	0,59	0,71
Kuat Tekan (MPa)	51,09	59,23	50,29
Kuat Tarik (MPa)	113,75	335,79	402,18
Modulus Elastis (E) (GPa)	16,03	15,81	13,74
Poisson Ratio (U)	0,17	0,17	0,17
Coefficient of thermal expansion (A)	5,6x10 ⁻⁷ /K	5,6x10 ⁻⁷ /K	5,6x10 ⁻⁷ /K

Sumber: Data Uji Material Bambu, 2023

Tabel 2 merupakan hasil uji terhadap sifat mekanika bambu yang digunakan pada struktural bangunan bambu pada lokasi. Berdasarkan hasil tersebut masing-masing bambu memiliki kekuatan serta fungsi masing-masing sesuai dengan hasil uji. Hasil uji ini akan digunakan sebagai data material yang akan di input pada aplikasi modeling simulasi ketahanan struktur yaitu, SAP 2000.

Data Hasil Observasi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang diambil merupakan lokasi terdampak gempa bumi tahun 2018 silam. Berdasarkan (Peta Pamenang Lombok Utara, 2023) karakteristik lokasi penelitian di Dusun Karang Subagan, Pamenang Barat, Kecamatan Pamenang, Kabupaten Lombok Utara, NTB, sebagai berikut:

a. Topografi

Berdasarkan observasi yang dilakukan area yang menjadi objek penelitian terletak di antara daerah pesisir pantai dan juga pegunungan Rinjani. Hal ini menyebabkan katakteristik topografi lokasi tersebut memiliki kemiringan area dengan karakteristik tanah yang keras dan

berbatu. Sehingga diperlukan adanya penyesuaian kondisi tanah serta kekuatan struktur yang akan dibuat.

b. Ketersediaan Material

Ketersediaan material menjadi hal yang sangat penting apabila penerapan kontruksi nanti dimasifkan. Sehingga perlu adanya kepastian ketersediaan akan material bambu. Pada lokasi ketersediaan material bambu cukup melimpah di beberapa area tumbuh tanaman bambu dengan subur.



Gambar 14. Rumpun tanaman bambu di sekitar area penelitian

(Sumber: Dokumentasi Yayasan Pasir Putih, Pamenang, 2020)

Namun ketersediaan material ini perlu dibudidayakan secara masif. Sehingga tidak hanya bergantung pada ketersediaan di alam namun juga perlu adanya langkah pembudidayaan bambu dengan jenis-jenis yang dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi bangunan.

c. Potensi Gempa

Berdasarkan letak geografis lokasi penelitian terletak di pulau Lombok dimana berada pada lempeng Indo-Australian serta terdapat patahan naik Flores. Hal ini yang menyebabkan potensi gempa yang akan terus terjadi cukup tinggi.

(Utomo Pryanbodo, 2018) Siklus terjadinya gempa besar akibat aktivitas patahan naik Flores. Berkisar antara 12-25 tahun sekali dengan kekuatan 6,5 hingga 7,8 SR. Sehingga potensi akan terjadi gempa sangat tinggi dan sangat memungkinkan akan terjadi gempa besar kembali. Hal ini yang menjadi dasar perlu adanya mitigasi sejak dini sebelum terjadinya gempa kembali.

Berdasarkan data observasi dan juga konfirmasi data secara literasi maka, karakteristik lingkungan penelitian merupakan area permukiman dengan jenis tanah keras berbatu dan memiliki kemiringan kontur. Selain itu potensi gempa yang tinggi sehingga diperlukan adanya mitigasi secara dini. Data diatas akan digunakan menjadi data dasar yang diinputkan

kepada aplikasi uji ketahan struktur sebagai faktor potensi gempa yang akan terjadi.

Hasil Uji Simulasi Struktur dengan Aplikasi SAP 2000 (Tahap 1)

Percobaan dilakukan terhadap desain konstruksi rumah dengan menggunakan material bambu dengan didasarkan pada data yang didapatkan pada observasi lokasi dan uji material bambu. Uji Simulasi dilakukan dengan spesifikasi struktur dan batasan percobaan sebagai berikut :

a. Lokasi

Struktur yang disimulasikan berdasarkan bangunan existing yang ada di lokasi. Tepatnya di Dusun Karang Subagan, Pamenang Barat, Kecamatan Pamenang, Kabupaten Lombok Utara, NTB.



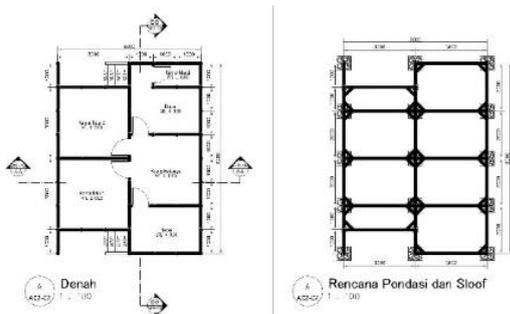
Gambar 15. Citra Satelit Lokasi Penelitian (Sumber : earth.google.com, diakses pada 15 November 2023)

b. Ukuran Lahan dan Bangunan

Luasan lahan yang digunakan untuk dibangun ialah 12x18 dengan luasan bangunan yang terbangun 6x8 tipe 64 m². Diperuntukan untuk keluarga dengan kapasitas 5-6 orang.

c. Denah

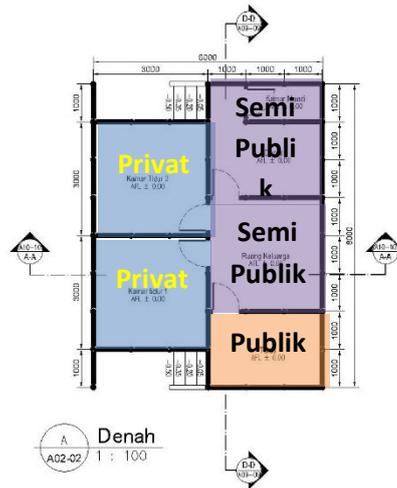
Rumah yang dibangun dengan tipe 64 m² dengan model rumah panggung sederhana. Material konstruksi yang digunakan berupa material bambu. Dengan ketinggian umpak 50 cm, model atap mengadopsi bentukan atap rumah tradisional setempat.



Gambar 16. Denah dan Rencana Struktur Bawah Bangunan (Sumber : Data Observasi Penulis, 2023)

d. Pola Penataan dan Kebutuhan Ruang

Berdasarkan gambar 18 denah pola ruang atau zoning yang tercipta membentuk pola linier atau sejajar. Pemisahan antara privat dan publik sangat efektif dikarenakan penerimaan tamu terjadi di ruang teras depan rumah. Sehingga yang dapat masuk ke dalam rumah hanyalah saudara terdekat dan keluarga inti. Dari segi penataan posisi ruang sudah cukup bagus namun akan lebih baik lagi jika posisi hadap pintu kamar mandi tidak tepat berada di depan pintu belakang. Sehingga sirkulasinya tidak terganggu oleh keluar masuknya pengguna rumah dari pintu belakang.



Gambar 17. Denah Pola penataan Ruang (Sumber : Data Observasi Penulis, 2023)

e. Desain Konstruksi Bangunan



Gambar 18. Desain Konstruksi Rumah dengan Material Bambu (Sumber : Modeling Aplikasi SAP 2000, 2023)

Konstruksi yang diterapkan merupakan konstruksi sederhana dengan material bambu dan pengikat sambungan antar struktur menggunakan paku/pasak dan tali. Dengan spesifikasi material bambu yang digunakan sebagai berikut :

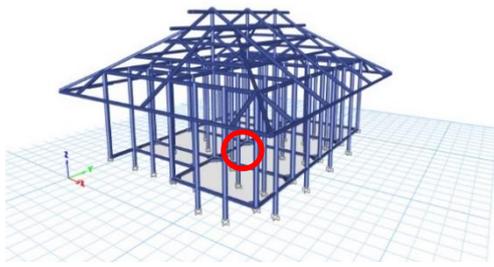
- Pondasi Umpak Beton
- Bambu Petung (Konstruksi Utama)
- Bambu Gombang (Gording dan Struktur Atap)

- Bambu Apus/Tali (Struktur atap dan penutup dinding)

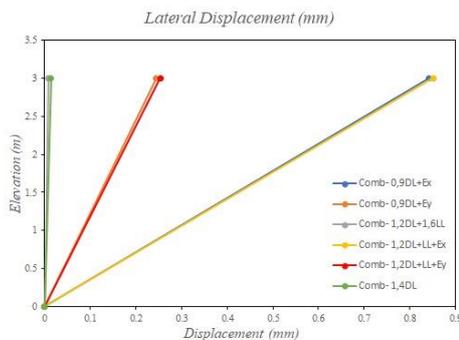
Pemilihan material tersebut didasarkan pada material bambu yang sering digunakan sebagai struktur bangunan dan juga hasil uji kekuatan atau sifat mekanika material bambu.

f. Hasil Uji

Percobaan dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 dengan ketentuan dan spesifikasi yang sudah ditentukan berdasarkan penelitian material serta observasi lokasi dan postensi gempa yang dilakukan secara berulang, didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 19. Desain Struktural dengan material bambu dan titik tinjau struktural pada bagian sambungan struktur utama dengan pengikat.
(Sumber: Data Modeling SAP 2000,2023)

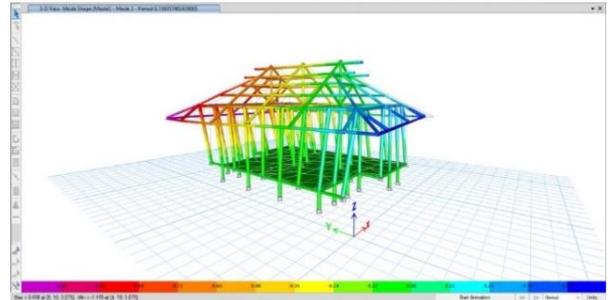


Gambar 20. Grafik Displacement (Hasil perubahan struktur) setelah dilakukan uji pembebanan gempa
(Sumber: Data Grafik SAP 2000,2023)

Dari simulasi yang dilakukan ditinjau dari titik sambungan kolom utama dengan balok pengikat dinding. Menghasilkan simpangan (displacement) terbesar 0,842 mm. Jika merujuk pada standar ketentuan SNI 1729 dan SNI 1726 tentang pembebanan pada bangunan rumah tinggal, simpangan yang dihasilkan masih dalam kategori aman sehingga struktur mampu bertahan terhadap potensi gempa yang terjadi sehingga meminimalisir korban akibat keruntuhan bangunan.

Gambar 21 menjelaskan bagaimana kondisi perubahan yang terjadi terhadap konstruksi yang dilakukan simulasi pembebanan gempa melalui aplikasi. Hasil uji dihitung berdasarkan parameter warna perubahan struktur dimana warna biru

menunjukkan kondisi struktur yang aman hingga warna merah sebagai parameter konstruksi yang mengalami simpangan terbesar dan memiliki kemungkinan terbesar terjadi kerusakan struktur.



Gambar 21. Hasil simpangan (displacement) dari Uji simulasi struktur
(Sumber: Data Grafik SAP 2000,2023)

Titik terbesar terjadi pada struktur atap , hal ini disebabkan karena tidak adanya struktur ikatan angin dan penopang struktur atap. Sehingga perlu adanya penambahan dan pembenahan struktur utamanya pada bagian pengikat struktur dan struktur atap agar bangunan menjadi lebih rigid.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil uji struktur rumah tinggal dengan material bambu. Dapat disimpulkan bahwa rumah dengan material bambu mampu bertahan terhadap gempa bumi dengan potensi yang akan terjadi pada lokasi penelitian. Sehingga konsep ERBA (*Earthquake-Resistant Bamboo Architecture*) dapat diterapkan menjadi solusi mitigasi bagi masyarakat yang terjangkau dan mudah untuk diterapkan. Dengan beberapa hal yang perlu diperhatikan agar penerapannya di lapangan dapat dimaksimalkan. Hal yang perlu diperhatikan ialah :

- Jenis Material bambu yang akan digunakan harus memenuhi standar dan telah melalui proses pengawetan yang baik.
- Penyempurnaan sistem sambungan dan model sambungan dengan memanfaatkan plat baja, mur/baut, dan sambungan modular.
- Perlu adanya regulasi yang jelas terkait pemanfaatan material bambu sebagai konstruksi bangunan.
- Edukasi kepada masyarakat berkaitan material bambu dan pemanfaatnaya agar standar yang nantinya ditentukan dapat dijalankan.
- Budidaya tanaman bambu sebagai upaya menjaga ketersediaan material dan memberikan manfaat pada lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abari. (2015). *Madan Puraskar Pustakalaya*. <https://abari.earth/mpp>
- Arifa, S. N. (2022, Juli 25). Jenis Bambu Ini Umum Dipakai untuk Material Konstruksi di Indonesia. Retrieved from Good News From Indonesia: <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2022/07/25/jenis-bambu-yang-umum-dipakai-untuk-material-konstruksi-di-indonesia>
- Artiningsih, N. K. A. (2012). Pemanfaatan bambu pada konstruksi bangunan berdampak positif bagi lingkungan. *Metana*, 8(1).
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. www.bsn.go.id
- Handoko, E., Maurina, A., Prastyatama, B., Gustin, R., Sudira, B., & Priscila, J. (2015). Peningkatan Durabilitas Bambu Sebagai Komponen Konstruksi Melalui Desain Bangunan dan Preservasi Material. *Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat Universitas Katolik Paranghyangan*, 6.
- Hidalgo Lopez, O. (2003). *Bamboo The Gift Of The Goods* (1 ed.). The Author .
- Peta Pamenang Lombok Utara*. (2023). <https://earth.google.com/web/search/Pemena+ng>.
- RISHA (*Rumah Instan Sederhana Sehat*). (2019). [RumahRISHA.id](https://www.rumahrisha.id/). <https://www.rumahrisha.id/>
- rwth-aachen. (2002). *Construction with Bamboo-Bamboo Connections*.
- Sharma, Y. M. L. (1987). Bambus in the Asia-Pacific Region: 99–100. In Lessard, G. & Chouinard. A. (eds) *Bambu Reaserch in Asia*. IDRC, Canada.
- Suriani, E. (2018). Kajian Terhadap Variasi Metode dan Bahan Pengawet pada Proses Pengawetan Bambu-Kayu di Indonesia. *EMARA: Indonesian Journal of Architecture*, 4(1). <https://doi.org/10.29080/emara.v4i1.338>
- Utomo Pryambodo. (2018, Agustus 24). *Memahami Rangkaian Gempa yang Guncang Lombok*. [KumparanSains](https://kumparan.com/kumparansains/memahami-rangkaian-gempa-yang-guncang-lombok-1535083180815075816). <https://kumparan.com/kumparansains/memahami-rangkaian-gempa-yang-guncang-lombok-1535083180815075816>
- Wang, T. H., Espinosa Trujillo, O., Chang, W. S., & Deng, B. (2017). Encoding bamboo's nature for freeform structure design. *International Journal of Architectural Computing*, 15(2), 169–182. <https://doi.org/10.1177/1478077117714943>
- Widyowijatnoko, A. (2021). Ketika Bambu Bermain dengan Gaya. *Arsitektur Instalasi Bambu*.
- Yap, F. (1969). *Bambu sebagai bahan bangunan* (tj. 2.) [Book]. Departemen Pekerjjaan Umum dan Tenaga Listrik, Direktorat Djenderal Tjipta Karya, Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.