

## KEEFEKTIFAN SISTEM STRUKTURAL PADA MERU DALAM MENGHADAPI GEMPA BUMI

I Putu Ellsa Sarasantika<sup>1\*</sup>, Putu Didik Sulistiana<sup>1</sup>, I Gede Dhana Putra Sanjaya<sup>2</sup>, Kadek Yonas Prameira Suwandi<sup>3</sup>, I Gusti Ngurah Agung Eka Arya Tejadinata<sup>4</sup>, I Made Nova Hartawan<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No.24, Denpasar, Bali  
E-mail: *iputuellsas@gmail.com, didik.sulistiana@warmadewa.ac.id, putradhana89@gmail.com, yonaspameira20@gmail.com, ignagungaryatejadinata@gmail.com, novahartawan92@gmail.com*

Masuk: 25-10-2023, revisi: 30-10-2023, diterima untuk diterbitkan: 31-10-2023

### ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis sifat tahan gempa pada bangunan Meru, pagoda bertingkat yang berada di daerah Bali, yang selama ini tetap utuh meskipun lapisan atasnya berbahan kayu dan lapisan dasarnya dilapisi dinding bata. Penelitian ini meliputi bentuk arsitektur, sistem struktur, bahan bangunan, respons dinamis, dan dampak beban angin terhadap Meru dalam menghadapi aktivitas seismik. Dengan menggunakan model Elemen Hingga 2-D dan analisis dinamika sejarah waktu non linier, Meru tingkat sebelas di Kawasan Pura Ulun Danu Batur Kintamani, Bali, dipelajari dalam konteks ketahanan gempa dan pengaruh beban angin. Penelitian ini mengungkap bahwa Meru mampu menghadapi gempa maksimum dengan tingkat kepercayaan untuk periode ulang 2500 tahun, sambil mengidentifikasi periode alami dan mode getar struktur. Dengan mempertimbangkan pula pengaruh beban angin, penelitian ini memberikan wawasan awal mengenai perilaku Meru dalam situasi gempa dan kondisi lingkungan yang lebih luas. Dari hasil analisa/ simulasi yang dilakukan di peroleh nilai maksimum simpangan antar tingkat pada Bungan Meru berada pada 0.0079 atau 1/125 dan Tegangan maksimum yang muncul berada sekitar 2.9 Mpa, nilai ini masih berada di bawah limit kekuatan material penyusun, baik itu kayu dengan limit 11 MPa maupun dinding bata dengan limit 5 MPa. Penelitian selanjutnya dapat melibatkan eksperimen untuk mengkonfirmasi temuan ini, termasuk analisis komponen individu dan struktur secara keseluruhan.

**Kata kunci:** Meru, Model Numerik, Respon Gempa, Beban Angin, Struktur Warisan Budaya

### ABSTRACT

*This research analyzes the earthquake resistant properties of the Meru building, a multi-story pagoda in Bali, which has remained intact even though the top layer is made of wood and the bottom layer is covered with brick walls. This research includes architectural form, structural systems, building materials, dynamic response, and the impact of wind loads on Meru in the face of seismic activity. Using a 2-D Finite Element model and non-linear time history dynamics analysis, the eleventh level Meru in the Ulun Danu Batur Temple Area of Kintamani, Bali, was studied in the context of earthquake resistance and the influence of wind loads. This research reveals that Meru is able to withstand a maximum earthquake with a confidence level for a return period of 2500 years, while identifying the natural period and vibration mode of the structure. By also considering the influence of wind loads, this research provides initial insight into Meru's behavior in earthquake situations and broader environmental conditions. From the results of the analysis/simulation carried out, it was obtained that the maximum value of the deviation between levels in Bungan Meru was 0.0079 or 1/125 and the maximum stress that appeared was around 2.9 Mpa, this value is still below the strength limit of the constituent materials, be it wood with a limit 11 MPa or brick walls with a limit of 5 MPa. Future research could involve experiments to confirm these findings, including analysis of individual components and the overall structure.*

**Keywords:** Meru, Numerical Model, Earthquake Response, Wind Load, Cultural Heritage Structure

## 1. PENDAHULUAN

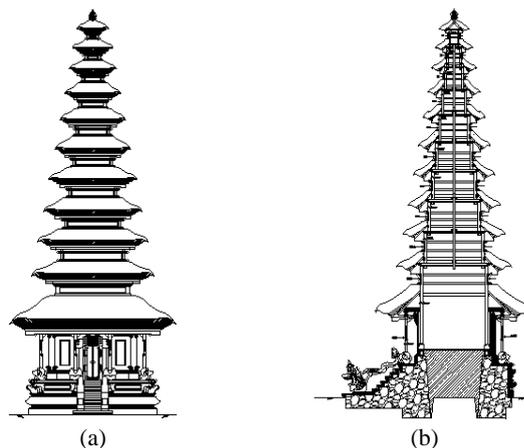
Meru, sebagai bangunan suci yang dihormati oleh umat Hindu di Bali sebagai tempat pemujaan kepada Tuhan dan leluhur, memperkenalkan model arsitektur peribadatan pertama kali pada abad ke-11 oleh seorang pendeta (Rahadian, 2001, p.144). Proses pembangunan Meru dipandu oleh arsitek tradisional Bali, yang dikenal sebagai "undagi", dengan panduan yang tertulis dalam Lontar Asta Kosala (Paramadhyaksa I. N., 2008). Meskipun banyak aspek Meru telah menjadi fokus penelitian sebelumnya, seperti variasi, filosofi fondasi, tata letak, dan tipologi

bangunan (Luxiana et al., 2021), penelitian mendalam mengenai respons seismik dari Meru masih terbatas. Padahal, dengan memahami perilaku struktural Meru dan responsnya terhadap gempa, tukang lokal atau "undagi" serta masyarakat umum bisa lebih memahami bagaimana Meru bertahan dalam menghadapi gempa (William et al., 2017).

Dengan menggunakan bahan lokal dan geometri rangka khas, struktur unik Meru menghasilkan respons seismik yang berbeda dari struktur modern. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengungkap karakteristik ketahanan gempa Meru, yang penting untuk keperluan monitoring, perawatan, perkuatan, dan pengembangan desain yang lebih efektif di masa depan. Pendekatan ilmiah dalam ilmu teknik sipil melalui penelitian ini memberikan wawasan lebih mendalam tentang bagaimana bangunan tradisional seperti Meru dapat memiliki ketahanan yang baik terhadap gempa, dan juga menginspirasi desain bangunan unik lainnya..

## 2. METODE

Dari sekian banyak variasi bentuk dan struktur, untuk studi kali ini di pilih struktur Meru Ulun Danu Batur, yang terletak di daerah Kintamani, ditunjukkan pada Gambar 1. Meru ini di pilih karena merupakan salah satu meru yang paling tinggi dan memiliki tingkatan yang paling banyak, yaitu menjulang setinggi 14.52 meter dengan 11 tingkat. Secara intuisi, struktur meru ini yang paling rentan dengan efek gempa.



**Gambar 1.** Meru Ulun Danu Batur (a) Tampak depan (b) Tampak potongan samping

Studi ini mengembangkan model numerik untuk menginterpretasikan perilaku dinamis struktur Meru. Model ini tidak mencakup fondasi dan interaksi struktur-tanah. Modal analisis digunakan untuk mengevaluasi bentuk struktur saat bergetar pada frekuensi utama, sementara analisis linier berbasis waktu digunakan untuk memahami kinerja selama gempa. Verifikasi keselamatan lokal dilakukan melalui mekanisme keruntuhan berdasarkan batas deformasi dari pedoman desain dan analisis keseimbangan.

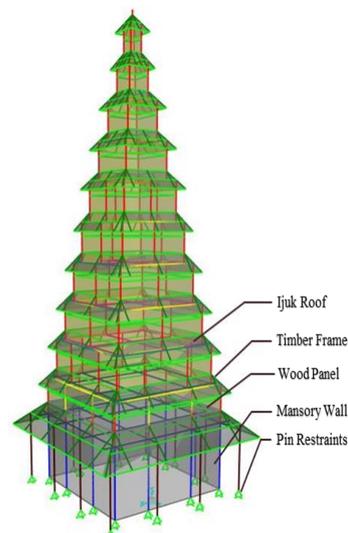
### 2.1 Material dan Karakteristik Struktur

Di Bali, tradisi bangunan terutama didasarkan pada kayu dan batu, terutama digunakan untuk arsitektur monumental. Melihat kasus khusus peninggalan bangunan suci seperti Meru, kombinasi struktur rangka kayu, panel kayu dan dinding pasangan bata dapat ditemukan. Sehubungan dengan pasangan bata, ada jenis tanah liat yang berbeda, diproduksi oleh pengerjaan lokal. Secara umum, kekuatan berkisar 5 MPa dan tingkat kekuatan ini cukup untuk memenuhi kekuatan minimum 2,5 MPa untuk tujuan struktural. Batu bata memiliki berat jenis  $1700 \text{ kg/m}^3$  dan modulus elastisitas,

E, 240 MPa dengan rasio poisson 0.15 (Nyoman et al., 2016). Jenis kayu majegau banyak digunakan dalam elemen struktur, karena umur dan estetikanya yang panjang memiliki sifat yang dikategorikan sebagai kayu kelas satu, yang memiliki kekuatan aksial,  $\sigma$ , 11MPa, modulus elastisitas, E, 12500 MPa dan berat jenis  $670 \text{ kg/m}^3$  (Putu et al., 2023). Atap terbuat dari ijuk dengan berat jenis  $250 \text{ kg/m}^3$  dalam kondisi basah (Supatmi, 2011).

## 2.2 Model Struktur

Kinerja seismik dari struktur kayu yang dipasang dengan panel kayu dievaluasi menggunakan model analisis yang ditunjukkan pada Gambar 2. Model struktur yang digunakan dalam analisis ini adalah rangka 3-D, model mempertimbangkan pengaruh dinding pasangan bata dan panel kayu, dan elemen kolom dan balok diasumsikan elastis. Sistem penyambungan tradisional di Meru struktural menggunakan pasak kayu sebagai elemen pengikat, dan dianggap sebagai sambungan semi kaku dengan faktor kekakuan 0,2 (Sudarsana et al., 2022). Demikian pula, dinding pasangan bata memiliki faktor kekakuan 0,35 (BSN SNI-1726, 2019). Rasio redaman diasumsikan dari energi yang diserap pada sejumlah sambungan sebesar 5%.



**Gambar 2.** Struktur Model Meru

## 2.3 Pemilihan Beban

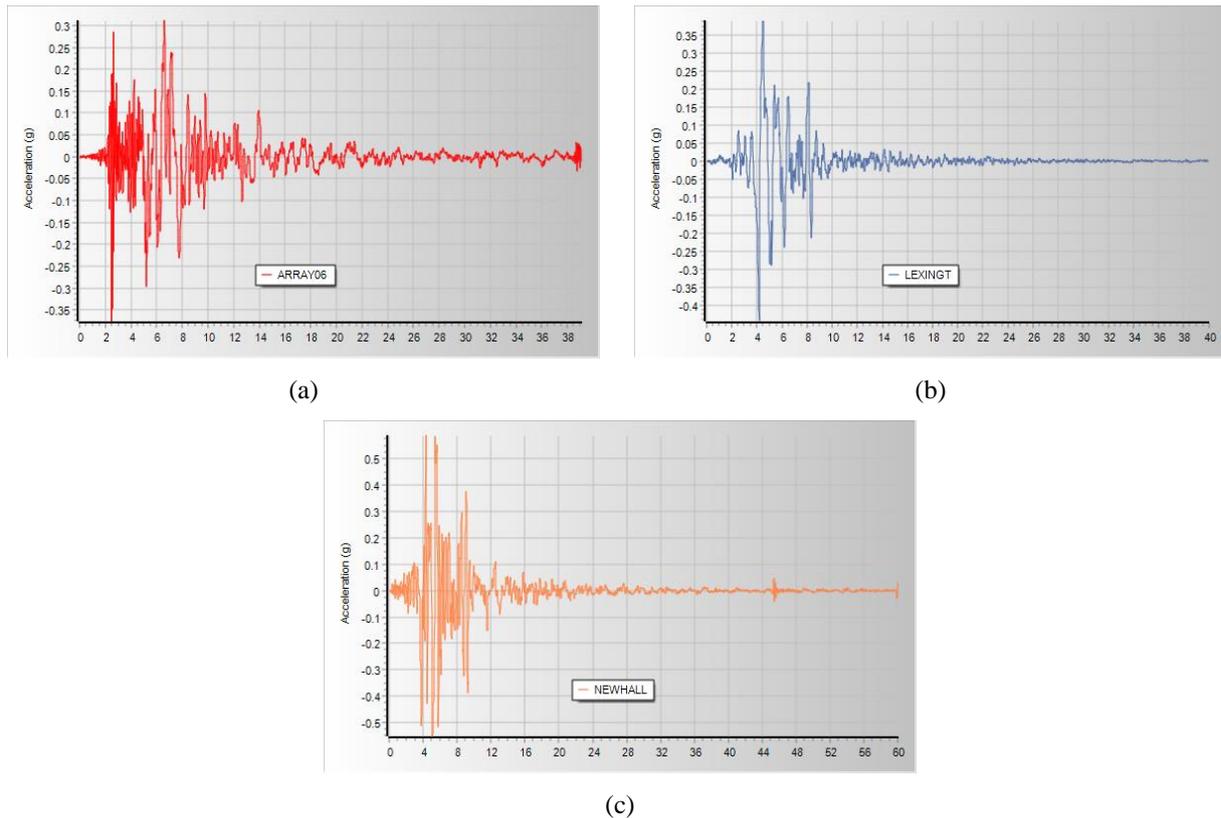
Beban mati yang digunakan dalam desain struktural adalah dengan mengidealisasikan beban atap, terdaftar pada Tabel 1. Beban ini kemudian dikonversi menjadi beban gravitasi saat dinamik linear analisis berdasarkan modal struktur.

**Tabel 1.** Idealisasi pembebanan gravitasi per lantai pada meru

| Tier | Atap       |  | Weight per Area n ( $\text{kg/m}^3$ ) |
|------|------------|--|---------------------------------------|
|      | Height (m) | Weight per Unit Volume ( $\text{kg/m}^3$ ) |                                       |
| 1    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |
| 2    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |
| 3    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |
| 4    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |
| 5    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |
| 6    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |
| 7    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |
| 8    | 0.35       | 285  | 99.75                                 |

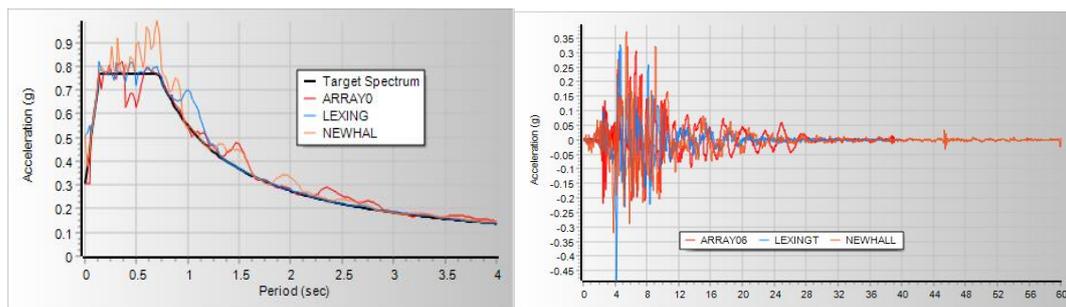
|    |      |     |       |
|----|------|-----|-------|
| 9  | 0.35 | 285 | 99.75 |
| 10 | 0.35 | 285 | 99.75 |
| 11 | 0.24 | 285 | 68.40 |

Beban hidup yang digunakan sebesar  $20 \text{ kg/m}^2$  disebabkan oleh air hujan sesuai SNI 1727:2020. Untuk menginvestigasi perilaku respon seismik sistem struktur Meru, time history analisis dilakukan dengan menggunakan 3 rekaman gempa. Dipilih gempa dengan magnitudo lebih besar dari 5 skala Richter yang karakteristiknya tergolong merusak. Rekam gempa yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** (a) *Acceleration Time History of ARRAY 06*, (b) *Acceleration Time History of Lexingt*, (c) *Acceleration Time History of Newhall*

Model struktur diasumsikan merupakan sistem penahan gaya gempa dengan kategori gempa IV (bangunan monumental) dan faktor keutamaan gempa (I) sebesar 1,5. Dengan demikian, nilai faktor modifikasi respons (R) sebesar 1,5, faktor kekuatan lebih ( $\Omega_0$ ) sebesar 1,5, dan faktor amplifikasi deformasi lateral (Cd) sebesar 1,5 yang diambil dari (BSN SNI-1726, 2019). Struktur model diasumsikan dibebani dengan parameter percepatan spektral pada periode pendek (SDS) dan pada 1 detik (SD1) masing-masing adalah 0.73 dan 0.51, yang dimana nilai ini adalah parameter spectral daerah Kintamani, Bali. Rekaman gempa diskalakan ke desain base earthquake level, yang mana tingkat gempa seperti ini diperkirakan akan terjadi paling tidak sekali dalam umur bangunan, 250 tahun sekali atau 10% kemungkinan terjadi dalam 50 tahun. Di tunjukkan pada Gambar 4. Rekam gempa diskalakan sedemikian rupa sehingga dalam periode berkisar dari  $0,2 T$  hingga  $1,5 T$ , di mana  $T$  adalah periode fundamental, rata-rata spektrum SRSS (akar kuadrat dari jumlah kuadrat) dari semua percepatan gempa tersebut tidak jatuh di bawah 71% dari target respon spektrum sebagaimana direkomendasikan dalam (ASCE7-16, 2000).

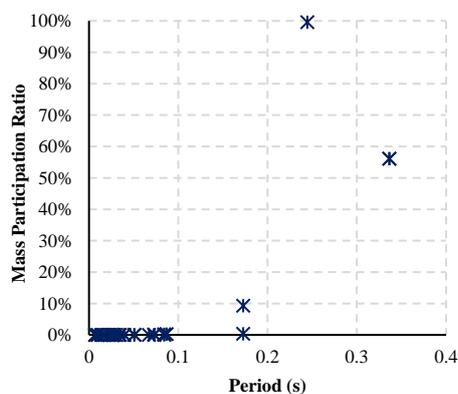


**Gambar 4.** Target respon spektrum dan spektrum gempa yang diskalakan

Masing-masing gempa yang sudah diskalakan selanjutnya disebut *earthquake 1*, *earthquake 2*, dan *earthquake 3*.

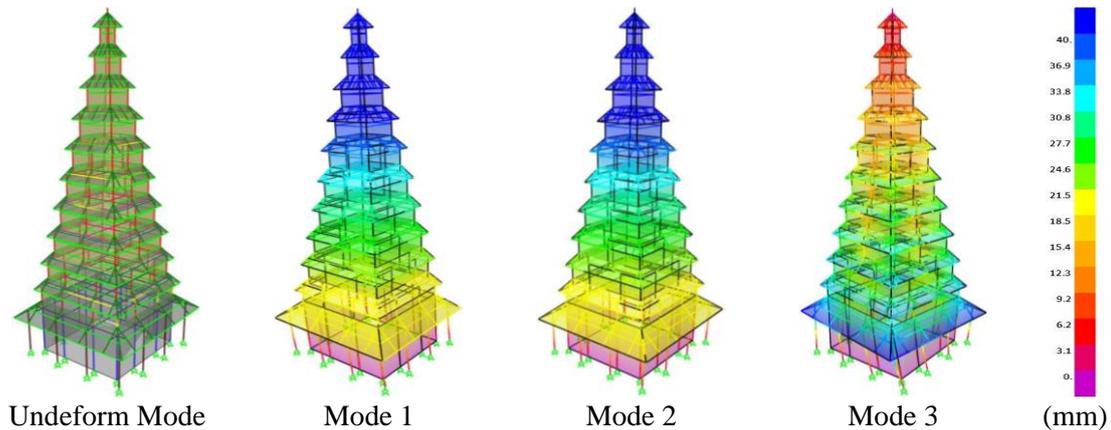
### 3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil analisis terbagi menjadi tiga, yaitu hasil dari analisis modal, analisis riwayat waktu (*time history*), dan analisis batas kapasitas dan gaya kesetimbangan. Dalam analisis modal, diperoleh perkiraan berat struktur Meru sekitar 133 kN atau sekitar 13 ton, berdasarkan evaluasi massa dan kekakuan struktur. Hasil analisis ini mengungkapkan bahwa saat struktur mengalami getaran akibat gempa, terlihat kecenderungan bentuk struktur yang dipengaruhi oleh akumulasi kontribusi partisipasi massa serta deformasi pada frekuensi (periode) tertentu. Gambar 5. menunjukkan bahwa mayoritas kontribusi berasal dari periode yang relatif kecil dalam skala grafik respon spektrum (lihat Gambar 4.). Hal ini menandakan bahwa struktur Meru lebih sensitif atau responsif terhadap getaran dengan frekuensi gempa yang lebih tinggi. Faktor ini terkait dengan perbandingan massa dan kekakuan struktur Meru, mengindikasikan bahwa bangunan ini termasuk ke dalam kategori struktur yang kaku atau kurang fleksibel.



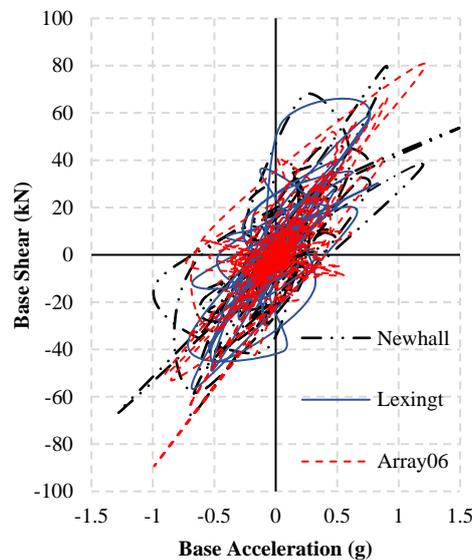
**Gambar 5.** Faktor Modal Partisipasi dan rentang periode mempengaruhi struktur Meru

Dapat dilihat juga pada Gambar 5. bahwa ada 3 titik tertinggi di mana *mass participation* faktornya berada di atas 15%. Ini menunjukkan kontribusi terbesar dari pergerakan struktur Meru yang mempengaruhi bentuk struktur saat terjadinya gempa. Gambar 6. menunjukkan tiga mode struktur signifikan pertama yang mempengaruhi, mode 1 dan mode 2 dengan kontribusi 56% saat periode getaran 0.336 detik, serta mode 3 dengan kontribusi 99% saat periode getaran 0.244 detik. Walaupun gerakan struktur Meru akan terbentuk dari superposisi dari respon semua mode yang berkontribusi, 3 bentuk inilah yang paling dominan mempengaruhi saat diguncang gempa. Visualisasinya pada meru dapat dilihat di Gambar 6.



**Gambar 6.** Tiga bentuk mode pertama dari struktur

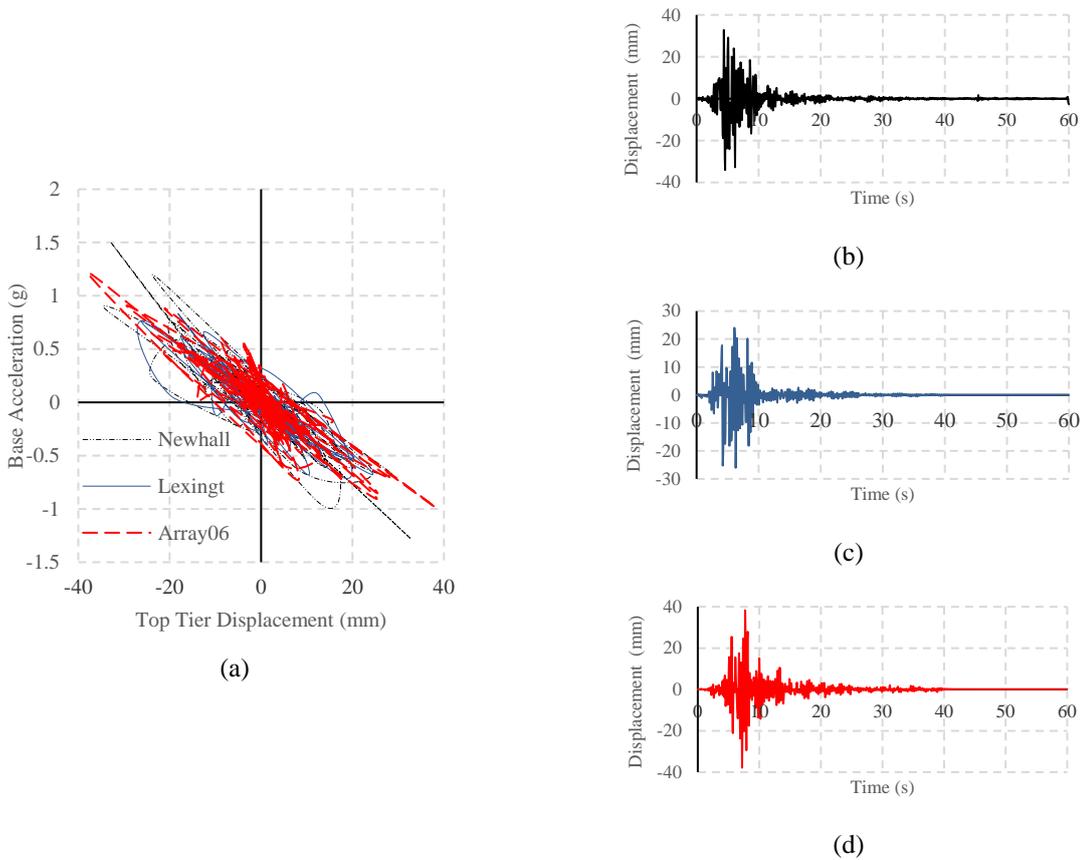
Dalam analisis dinamik, khususnya analisis riwayat waktu (*time history*), hasil mencakup reaksi gaya, percepatan, *displacement*, dan drift pada setiap tingkat struktur. Gambar 7 menunjukkan korelasi antara gaya geser dasar dan percepatan dasar. Terlihat bahwa gaya geser maksimum (sekitar 80 kN) terjadi saat percepatan maksimum (sekitar 1.2g) dicapai. Secara sederhana, struktur Meru menghasilkan gaya geser sekitar 60% dari berat totalnya, diakibatkan oleh percepatan 1.2g. Hasil ini sesuai dengan respons spektrum yang menunjukkan bahwa percepatan 1.2g (lihat Gambar 4.) berasal dari karakteristik struktur Meru dengan periode getar alami yang relatif pendek, di mana lebih dari 75% respons terjadi pada periode getaran kurang dari 0.244 detik (lihat Gambar 5.).



**Gambar 7.** Hubungan *base shear-acceleration* dalam struktur selama gempa bumi

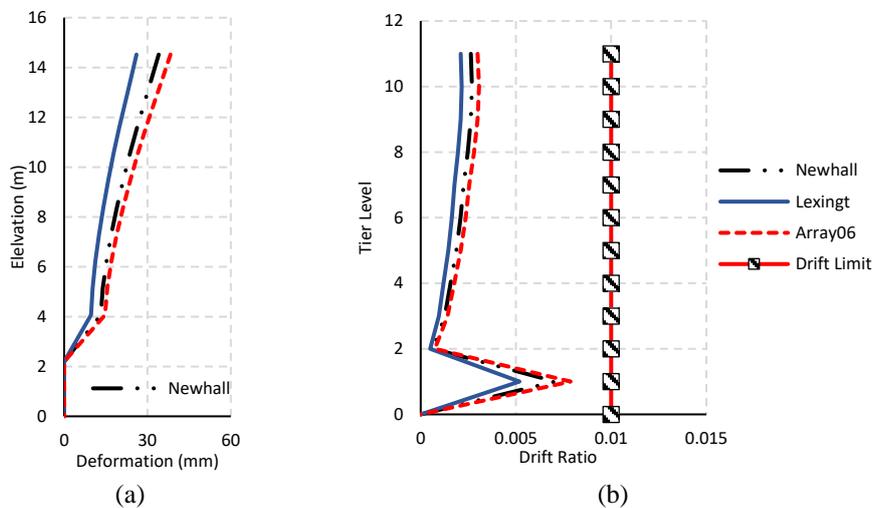
Umumnya, struktur dengan desain fleksibel atau periode getar yang lebih panjang dapat diharapkan memiliki respon akselerasi yang lebih rendah dibanding struktur yang kaku. Namun, struktur yang lebih fleksibel dengan periode yang lebih lama cenderung mengalami deformasi yang lebih besar. Deformasi signifikan ini memerlukan bahan yang memiliki sifat daktilitas yang baik. Keuntungan bagi struktur Meru adalah memiliki periode alami yang sangat rendah, yang memungkinkan untuk akselerasi yang relatif rendah dan deformasi yang terkontrol. Secara lebih rinci, Gambar 8 menggambarkan respons akselerasi dan deformasi selama gempa. Deformasi

maksimum di ujung atap atau tingkat puncak mencapai 38 mm.



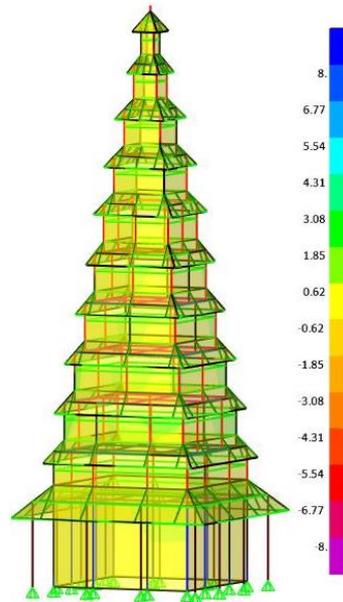
**Gambar 8.** (a) Acceleration-displacement relation in the structure during earthquakes (b) Displacement of the top tier during earthquake 1 (c) Earthquake 2, and (d) Earthquake 3

Lebih jelas mengenai perbandingan ketiga gempa yang digunakan terlihat pada Gambar 9(a) menunjukkan seluruh deformasi Meru setinggi elevasinya. Gambar 9(b) menunjukkan perbandingan drift ratio tiap tingkat dari struktur Meru. Dari pengamatan drift ratio, hasil menunjukkan bahwa maksimum simpangan antar tingkat adalah sekitar 0.0079 atau 1/125. Drift story yang kecil ini menunjukkan performa seismik yang baik dari sebuah struktur kayu, di mana cukup untuk memenuhi tingkat keamanan dari struktur kayu tradisional yang batas ijin maksimum keamanannya adalah 1% berdasarkan SNI 1726:2019.



**Gambar 9.** Absolute maximum displacements and (b) drift response of the structure during earthquakes

Gambar 10. memaparkan hasil analisis tegangan dan regangan akibat deformasi selama terjadinya gempa. Saat gempa berlangsung, tegangan dan regangan berubah seiring dengan deformasi, dipengaruhi oleh karakteristik material. Tegangan maksimum yang muncul dari ketiga gempa yang dianalisis adalah sekitar 2.9 MPa. Nilai ini masih berada di bawah limit kekuatan material penyusun, baik itu kayu dengan limit 11 MPa maupun dinding bata dengan limit 5 MPa. Dengan kapasitas yang lebih besar daripada tegangan yang dihasilkan, komponen struktural Meru tetap aman pada tingkat gempa ini. Karakteristik respons seismik Meru yang menghasilkan deformasi relatif kecil berperan penting, sejalan dengan kapasitas material yang digunakan. Oleh karena itu, keberlangsungan Meru tingkat sebelas hingga saat ini dapat dijelaskan secara rasional.



**Gambar 10.** Tegangan Maksimum yang bekerja pada dinding pasangan bata dan panel kayu (maks = 2.9 MPa)

#### 4. KESIMPULAN

Setiap Meru memiliki konfigurasi struktural yang unik, yang memengaruhi perilaku dinamis dan, akibatnya, ketahanan seismik. Konfigurasi demikian, selain bergantung pada geometri dan distribusi massa, juga dipengaruhi oleh sifat mekanik unsur-unsurnya. Analisis modal, riwayat waktu linier, batas deformasi dan kesetimbangan kapasitas dilakukan.

Dari pembahasan hasil analisa didapat bahwa:

1. Struktur Meru termasuk struktur yang kaku, dilihat dari perspektif perbandingan massa bangunan dan kekakuan yang dimilikinya.
2. Karakteristik kaku pada Meru dapat mencapai titik dimana, respon percepatan dan deformasi struktur terhadap getaran gempa menjadi cukup kecil.
3. Selama gempa terjadi sebagian besar bentuk deformasinya berada dalam mode 1 dan mode 2, atau secara sederhana dapat dikatakan seperti deformasi kantilever beam.
4. Dilihat pada tiap tingkat Meru, drift yang terjadi masuk dalam batas aman. Sesuai dengan *guideline* SNI 1726:2019.
5. Begitu pula dengan tegangan yang terjadi tidak lebih besar dari kapasitasnya.

Dengan begitu dapat diperkirakan bahwa hal-hal inilah yang menjadi alasan bahwa Meru dapat bertahan dalam lama sampai saat ini walau diguncang dengan gempa sejak pertama kali didirikan.

Studi tentu masih mempunyai batasan diantaranya:

1. Sambungan dianggap rigid sempurna, efek nonlinear belum diperhitungkan
2. Kombinasi beban angin tidak diperhitungkan

3. Peningkatan berat atap karena kemampuan menyerap cairan tidak diperhitungkan
4. Efek degradasi kekuatan material akibat pembusukan belum diperhitungkan
5. Analisa terbatas pada meru tingkat 11, untuk meru tingkat 9, 7, 5 dan 2 masih perlu diteliti.

Meski begitu hasil analisa diatas dapat menjadi referensi untuk studi dan penelitian selanjutnya. Verifikasi melalui experimental masih perlu dilakukan, sehingga dapat menambah akurasi dari analisa, sedemikian hingga dapat menjadi dasar yang baik dalam perencanaan dan aplikasi praktis dalam konstruksi di dunia nyata atau perbaikan jika dibutuhkan.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Armeli, I. A., Agung, I. G., & Suryada, B. (2016). Penelitian yang dilakukan oleh. *Transform*, 2, 1–14.
- ASCE7-16. (2000). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. In *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers (ASCE).  
<https://doi.org/10.1061/9780784414248>
- BSN SNI-1726. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. 1726. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- BSN SNI-1727. (2020). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- Dasar, D. I., & Meru, B. (n.d.). Makna filosofis keberadaan ornamen.
- Dwijendra, N. K. A. (2020). Meru as a hindu sacred building architecture with a high roof and resistant to earthquakes in Bali, Indonesia. *Civil Engineering and Architecture*, 8(3), 350–358.
- Gede, I. W. P., & Sudibya, G. I. M. (2019). Analisis Kekuatan Struktur Beton pada Meru Pura Dalem Sakenan di Pulau Serangan Bali. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 1-8.
- Howe, L. E. A. (1983). An Introduction to The Cultural Study of Traditional Balinese Architecture. *Archipel*, 25(1), 137–158.
- H, R. P., Astrina, I., & Saliya, Y. (2016). The Typology of the Balinese Meru Shape and the Roots of Its Development. 6(12), 1–7.
- Lansing, J. S. (1991). *Meru: The Sacred Architecture of Bali*. Periplus Editions.
- Lansing, J. S. (1991). *Technologies Of Power in The Engineered Landscape of Bali*. California: Princeton University Press Princeton and Oxford.
- Lestari, D. A., & Indrawati, M. (2018). Analisis Struktur Meru Sebagai Bangunan Tradisional Bali Untuk Peningkatan Resistensi Gempa. *Jurnal Arsitektur Universitas Udayana*, 7(2), 55-63.
- Luxiana, I. W. S. (n.d.). *Arsitektur Bali Minimalis*.  
[http://repository.warmadewa.ac.id/id/eprint/501/1/ARSITEKTUR BALI MINIMALIS.pdf](http://repository.warmadewa.ac.id/id/eprint/501/1/ARSITEKTUR%20BALI%20MINIMALIS.pdf)
- Nyoman, N., Rahayu, R., Budiwati, I. A. M., & Sukrawa, M. (2016). Studi Karakteristik Bata Merah Lokal Bali Sebagai Dinding. In *Jurnal Spektran* (Vol. 4, Issue 1).
- Paramadhyaksa, I. N. (2008). *Konsepsi Yang Melandasi Bagian Dasar Bangunan Meru Di Bali*. Denpasar: MEDIA TEKNIK No.3.
- Pranoto, A., & Marthanty, D. R. (2018). Analisis respon dinamik struktur Meru Bali. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 20(2), 101-108.
- Putu, I., Sarasantika, E., Gede, I. B., Putra, P., Tampubolon, S., Dhana, G., & Sanjaya, P. (2023). Analisa Performa Seismic Meru (Struktur Bertingkat Pagoda Khas Bali): Preliminary Study (Vol. 4, Issue 1). Online.
- Rita, R., et al. (2016). Traditional Building Materials in Balinese Architecture. *Procedia*

Environmental Sciences, 35, 437-444.

Sudarsana, I. K., Susila, G. A., Silvi, N. P., & Dwijendra, N. K. A. (2022). Seismic Analysis on the Behaviors of Meru Structures: A Sacred Building in Balinese Temples. Modelling and Simulation in Engineering, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1846193>

Supatmi. (2011). Analisis Kualitas Genteng Beton Dengan Bahan Tambah Serat Ijuk Dan Pengurangan Pasir.

William, R. (2017). The Architecture of Pagodas Viewed from the Angle of Site Lay-Out, Proportion, and Symbolization. Riset Arsitektur (RISA), 1(02), 192–208.

Yudistira, I. K., Astawa, I. B. P., & Wijaya, I. N. (2019). Analisis Struktur Meru Taman Ayun. Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur, 7(1), 50-57