

ANALISA PERFORMA SEISMIC MERU (STRUKTUR BERTINGKAT PAGODA KHAS BALI): PRELIMINARY STUDY

**I Putu Ellsa Sarassantika¹, Ida Bagus Gede Parama Putra², Sudarno Tampubolon³,
I Gede Dhana Putra Sanjaya⁴**

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa

Email: iputuellsas@gmail.com

²Program Studi Arsitektur, Universitas Warmadewa

Email: parama.putra91@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

Email: darno_tampubolon@yahoo.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa

Email: putradhana89@gmail.com

Masuk:25-04-2023, revisi: 29-04-2023, diterima untuk diterbitkan: 30-04-2023

ABSTRAK

Studi ini mengkaji sifat tahan gempa dari Meru, pagoda bertingkat yang terletak di Bali, Indonesia. Meskipun lapisan atasnya dibangun dengan rangka dan panel kayu, dan lapisan dasarnya ditutupi dengan dinding pasangan bata, Meru tidak mengalami kerusakan yang signifikan akibat gempa bumi sejak didirikan pada tahun 1968. Makalah ini menganalisis bentuk arsitektur, sistem struktur, bahan bangunan, dan respons dinamis Meru terhadap aktivitas seismik. Analisis ini berfokus pada Meru tingkat sebelas yang terletak di Kawasan Pura Ulun Danu Batur Kintamani, Provinsi Bali, menggunakan model Elemen Hingga 2-D dan metode analisis dinamika sejarah waktu nonlinier untuk menyelidiki ketahanan gempa. Hasilnya menunjukkan bahwa Meru dapat menahan gempa maksimum yang kredibel untuk periode ulang 2500 tahun, dan periode alami serta mode Meru telah ditentukan. Studi ini berfungsi sebagai investigasi pendahuluan untuk memprediksi dan memantau perilaku struktur Meru selama gempa bumi. Penelitian di masa depan dapat melibatkan analisis eksperimental dari komponen individu dan struktur keseluruhan untuk lebih memverifikasi model analisis.

Kata kunci: Meru; model numerik; pagoda; respon gempa; Struktur warisan budaya

ABSTRACT

The Meru, a multi-tiered Balinese pagoda in Bali, Indonesia, is investigated for its earthquake-resistant properties in this study. Despite the fact that its upper tier is made of timber frames and panels, and its lower tier is made of masonry walls, the Meru has not suffered significant earthquake damage since its construction in 1968. This paper investigates the Meru's architectural form, structural system, building materials, and dynamic responses to seismic activity. The study focuses on an eleven-tier Meru in the Ulun Danu Batur Temple Kintamani Region, Bali Province, and investigates earthquake resistance using a 2-D Finite Element model and Nonlinear time history dynamic analysis method. The results show that the Meru can withstand the maximum credible earthquake for 2500 years, and the Meru's natural periods and modes have been determined. This study is a preliminary investigation into predicting and monitoring the Meru structure's behavior during earthquakes. To further validate the analysis model, future research could include experimental analysis of both individual components and the overall structure.

Keywords: Earthquake responses; Eleven-tier pagoda; Heritage structure; Meru; numerical model

1. INTRODUCTION

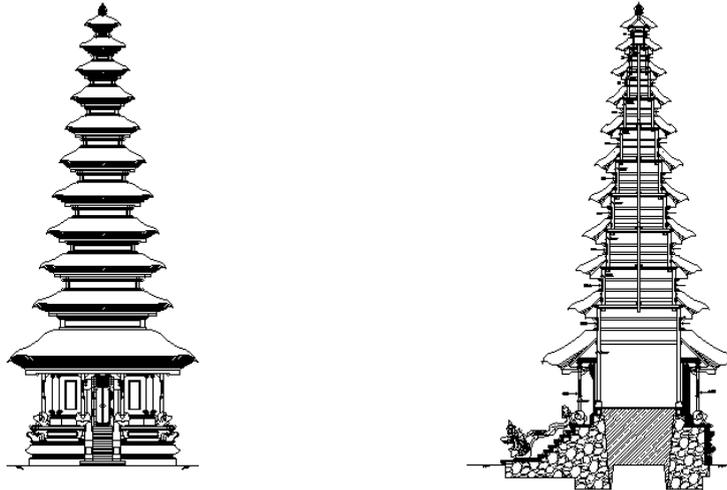
Meru adalah bangunan suci pemujaan Tuhan dan leluhur bagi umat Hindu di Bali. Model arsitektur peribadatan ini diperkenalkan pertama kali di Bali oleh seorang pendeta kurang lebih pada abad ke 11 (rahadian, 2001.p144). Meru adalah bangunan suci pemujaan Tuhan dan leluhur bagi umat Hindu di Bali. Proses pengukuran, pemilihan bahan bangunan, maupun tahap-tahap pengerjaannya dilakukan oleh arsitek tradisional Bali (*undagi*) sesuai dengan acuan tradisional yang tertulis pada *Lontar Asta Kosali*. (Paramadhyaksa I. N., 2008)

Karena keunikannya banyak peneliti yang mempelajari tentang Meru ini. Beberapa aspek dari Meru yang sudah pernah dipelajari sebelumnya diantaranya: Ragam variasi Meru yang tersebar di Bali (Dasar & Meru, n.d.), Latar belakang filosofi dari pondasi struktur Meru (Armeli et al., 2016), Tata letak, proporsi dan simbolisasi bangunan Meru (William, 2017), Tipologi dari bentuk dan akar dari perkembangannya (Luxiana, n.d.), (Lansing, J. S. 1991) meneliti Meru tingkat 5 mengenai rasio dimensi dari komponen horizontal, vertical dan diagonal. Penelitian sebelumnya banyak berfokus pada filosofi desain dan rasio dimensi bangunan, sedangkan sangat sulit didapatkan kajian yang mendalam mengenai perilaku seismik dari struktur Meru. Padahal dengan mempelajari struktur Meru dan kinerjanya, dimasa yang akan datang, tukang lokal atau *undagi*, atau bahkan masyarakat pada umumnya dapat mengerti dan mempertimbangkan bagaimana Meru dapat bertahan terhadap gempa. Struktur Meru dapat dikategorikan struktur yang unik dengan beberapa material lokal tradisional, dan geometri rangka yang berbeda dengan standar bangunan, menghasilkan kombinasi yang berbeda dari biasanya, dan akhirnya perilaku respon seismiknya pun berbeda.

Maka, mempelajari apa saja yang membuat struktur Meru ini dapat bertahan terhadap guncangan gempa, merupakan hal yang sangat menarik untuk dilakukan. Lingkup utama dari paper ini adalah untuk menjabarkan hasil analisis untuk struktur unik yang dimiliki oleh Meru. Dengan mengetahui karakteristik ketahanan gempa yang dimiliki oleh Meru ini, maka dimasa depan dapat dengan mudah dilakukan monitoring, perawatan, dan perkuatan, atau bahkan apabila validasi dengan experiment terselesaikan, rekomendasi desain untuk pembangunan yang lebih efektif dapat dibagikan kepada pelaku desain Meru. Paper ini dapat menjadi referensi tambahan keilmuan yang membahas bagaimana keunikan struktur tradisional.terdahulu mendapat kemampuan ketahanan gempa yang baik. Penjelasan karakteristik ketahanan gempa bangunan tradisional yang dijelaskan berdasarkan ilmu teknik sipil ini, dapat menjadi inspirasi untuk dasar-dasar desain bangunan arsitektur unik lainnya.

2. METHODS

Dari sekian banyak variasi bentuk dan struktur, untuk studi kali ini di pilih struktur Meru Ulundanu 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 16 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

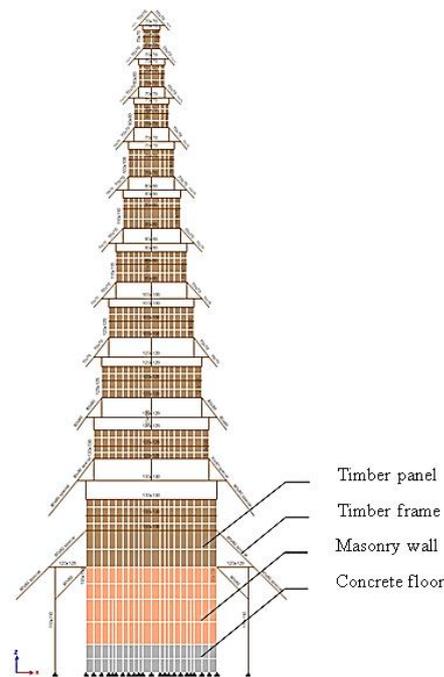
Untuk menginterpretasikan perilaku dinamis struktur, model numerik telah dikembangkan. Dalam studi ini, model yang sesuai dengan struktur tidak memasukkan sistem pondasi dan tidak ada interaksi struktur tanah yang dipertimbangkan. Modal *analysis* digunakan untuk mengetahui kecenderungan bentuk struktur ketika mengalami getaran pada frekuensi yang paling berpengaruh padanya. Kemudian, linear time *history analysis* digunakan untuk mengetahui performa struktur selama gempa berlangsung. Untuk verifikasi keselamatan lokal seperti itu, hasilnya dapat diperoleh dengan pendekatan mekanisme keruntuhan lokal berdasarkan batas deformasi yang ditawarkan oleh pedoman desain dan analisis batas 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. Dan modulus elastisitas pasangan bata sekitar 300 MPa (R. Rita, 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, σ , 11MPa, modulus elastisitas, E , 12500 MPa. Atap terbuat dari ijuk dengan berat jenis 0.0667 gram/cm³. (Balinese Architecture 2021)

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 2D, dan elemen kolom dan balok diasumsikan elastis. Sambungan antar element dalam studi ini sementara diasumsikan dengan model rigid. Rasio redaman diasumsikan dari energi yang diserap pada sejumlah sambungan sebesar 5%.



Gambar 2. Struktur Model Meru

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

Tabel 1. Idealisasi pembebanan gravitasi per lantai pada meru

Tier	Roof					Weight Per Column (kN)
	Height	Base	Length	Volume (m ³)	Weight (kg)	
1	2.00	1.50	6.00	36.00	2400.00	6.00
2	1.30	1.18	5.30	16.19	1079.43	2.70
3	1.21	1.03	4.74	11.86	790.45	1.98
4	1.13	0.98	4.39	9.70	646.72	1.62
5	1.04	0.90	3.99	7.52	501.54	1.25
6	0.96	0.81	3.49	5.41	360.77	0.90
7	0.87	0.73	3.23	4.11	273.97	0.68
8	0.79	0.67	2.92	3.07	204.96	0.51
9	0.70	0.60	2.62	2.20	146.72	0.37
10	0.70	0.54	2.33	1.76	117.43	0.29
11	1.00	0.47	2.00	1.88	125.33	0.31

2.3. Pemilihan Beban Gempa

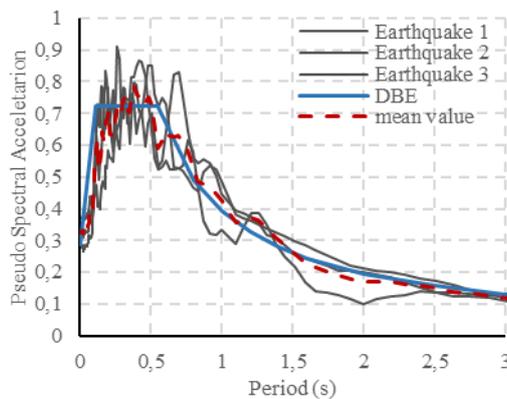
Untuk menginvestigasi perilaku respon seismic sistem struktur Meru, time history analysis dilakukan dengan menggunakan 3 rekaman gempa. Dipilih gempa dengan magnitudo lebih besar dari 5 skala richter yang terjadi antara tahun 1960 dan 2000, yang karakteristiknya

tergolong merusak. Rekam gempa yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar rekaman gempa untuk analisa dinamik

<i>Earthquake</i>	<i>Stations</i>	<i>Source</i>	<i>Year</i>	<i>Magnitude</i>	<i>Duration (sec)</i>	<i>PGA (g)</i>	<i>PGV</i>
Imperial Valley	El Centro, CA-Array Sta 5-2801 James	USGS	1979	6.5	39	0.539	49
Morgan Hill	Gilroy Array Sta 4, CA - San Ysidro School	CSMIP	1984	6.1	60	0.328	16.7
Kobe	Amagasaki, Japan, CEOR, Kansai Area	SMVDC	1995	6.9	54	0.356	16

Struktur model diasumsikan dibebani dengan parameter percepatan spektral pada periode pendek (SDS) dan pada 1 detik (SD1) masing-masing adalah 1,07 dan 0,79, yang dimana nilai ini adalah parameter spektral daerah Bali secara general. Rekam 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 3. 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 ASCE.



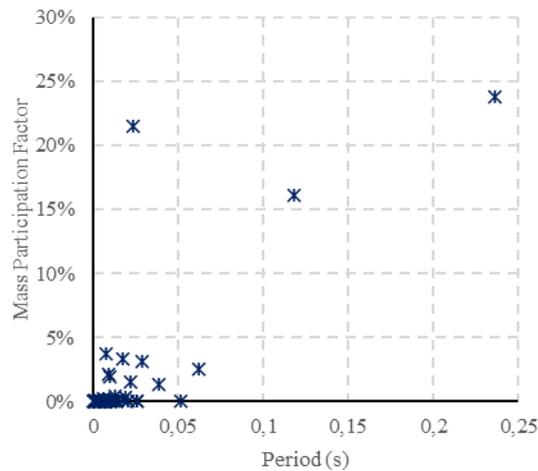
Gambar 3. Target respon spektrum dan spectrum gempa yang diskalakan

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

3. RESULTS AND DISCUSSION

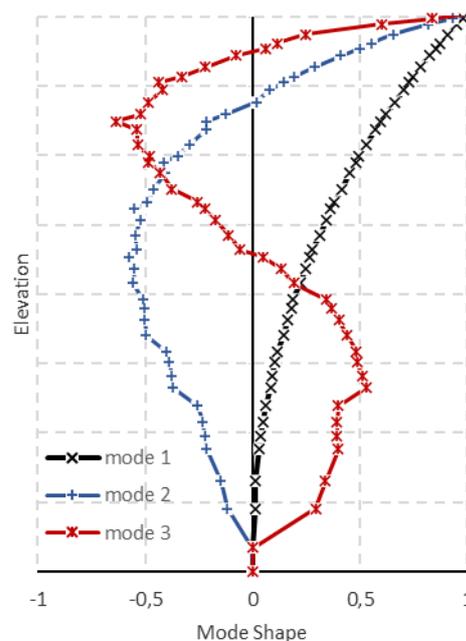
Hasil analisa dibagi menjadi 3 bahasan yaitu hasil dari modal analisis, hasil dari time history analisis dan hasil analisa batas kesetimbangan kapasitas dan gaya. Analisa modal pada struktur meru telah didapat. Analisa ini didasari dari massa dan kekakuan struktur. Dari hasil analisa, perkiraan berat bangunan ini adalah sekitar 122 kN atau sekitar 12 ton. Kecenderungan bentuk struktur saat terjadi getaran gempa merupakan hasil dari akumulasi kontribusi partisipasi massa dan bentuk-bentuk deformasi pada frekuensi (periode) tertentu. Dapat dilihat dari gambar 4, bahwa, sebagian besar kontribusi didapat dari periode yang relative kecil (dalam skala grafik respon spectrum, lihat Gambar.3). Ini menunjukkan bahwa struktur Meru akan sensitive atau lebih mudah bergerak dan merespon terhadap getaran dengan periode yang kecil atau dengan kata lain frekuensi gempa yang besar. Periode yang kecil ini juga menunjukkan bahwa,

perbandingan massa bangunan Meru dan kekakuan penyusun struktur Meru menjadikan struktur meru tergolong struktur yang kaku atau tidak fleksibel.



Gambar 4. Faktor Modal Partisipasi dan rentang periode mempengaruhi struktur Meru

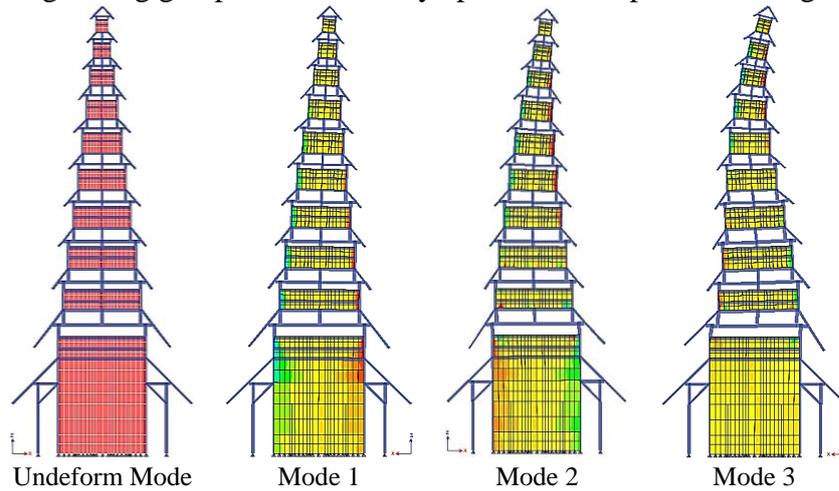
Dapat dilihat juga pada gambar 4 bahwa ada 3 titik tertinggi dimana mass participation factornya berada diatas 15%. Ini menunjukkan kontribusi terbesar dari pergerakan struktur Meru yang mempengaruhi bentuk struktur saat terjadinya gempa. Gambar 5 dan 6 menunjukkan tiga mode struktur signifikan pertama yang mempengaruhi.



Gambar 5. Tiga bentuk mode pertama dari struktur

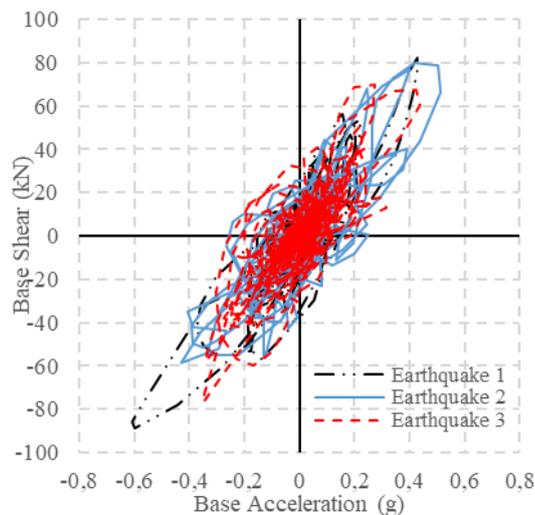
Mode 1 dengan kontribusi 24% saat periode getaran 0.236 detik, mode 2 dengan kontribusi 22% saat periode getaran 0.024 detik, dan mode 3 dengan kontribusi 16% saat getaran dengan periode 0.118 detik. Walaupun gerakan struktur Meru akan terbentuk dari superposisi dari

respon semua mode yang berkontribusi, 3 bentuk inilah yang paling dominan mempengaruhi, yaitu 62%, saat diguncang gempa. Visualisasinya pada meru dapat dilihat di gambar 6.



Gambar 6. Tiga bentuk mode pertama dari struktur

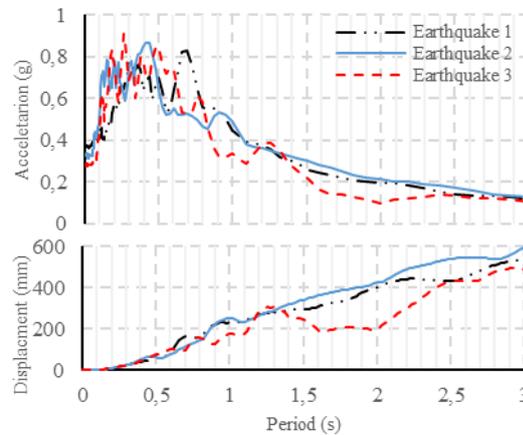
Masuk kedalam analisa dinamik, yaitu *time history analysis*, didapat hasil reaksi gaya dan percepatan yang didapat oleh struktur, lengkap dengan *displacement* dan drift tiap tingkat. Pada gambar 7 didapat hubungan antara base shear dan base acceleration, dapat dilihat bahwa gaya geser dasar maksimum (sekitar 80kN) didapat ketika respon akselerasi maksimum tercapai (sekitar 0.6g). Secara sederhana dapat dikatakan bahwa respon gaya geser yang dihasilkan struktur meru adalah sekitar 65% dari berat total Meru yang dimana disebabkan oleh percepatan 0.6g. Merujuk kepada respon spectrum, respon percepatan 0.6g ini (lihat gambar 3) merupakan hasil dari karakter struktur Meru yang memiliki periode getar alami yang relative kecil, yang bahkan lebih dari 75% merespon terhadap periode getaran kurang dari 0.15 detik (lihat gambar 4).



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

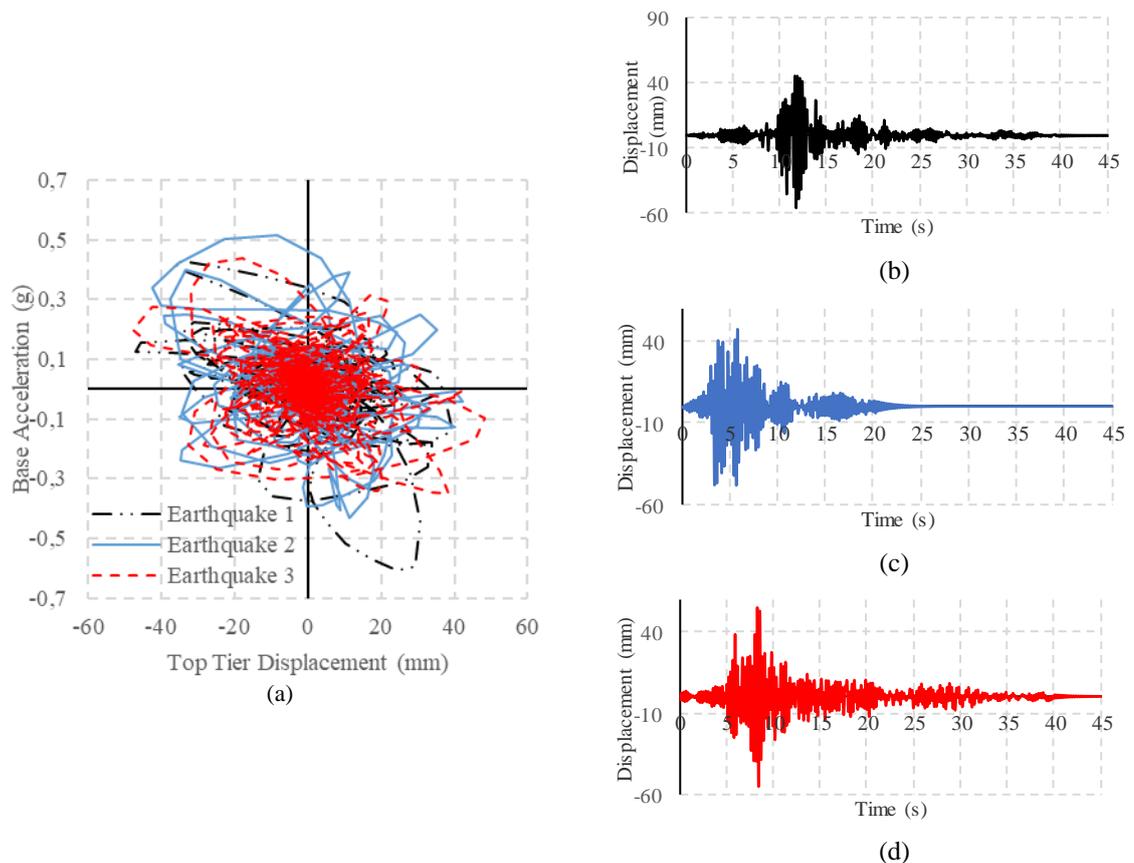
Gambar 8 menunjukkan respon struktur dalam hal akselerasi dan displacement, secara umum desain struktur fleksibel atau dengan periode panjang dapat diperkirakan memiliki respon akselerasi yang lebih kecil dari pada struktur kaku. Akan tetapi dengan periode yang lebih panjang, struktur akan cenderung mengalami deformasi yang lebih besar, pergerakan yang besar ini tentu harus didukung dengan daktilitas bahan yang baik. Merupakan sebuah keuntungan bagi struktur Meru yang mempunyai periode alami yang sangat kecil,

memungkinkan Meru mendapat akselerasi yang relative cukup kecil dan juga respon deformasi yang tidak kalah kecilnya, dapat dilihat dalam period of interest yang diarsir dengan warna hijau cerah.



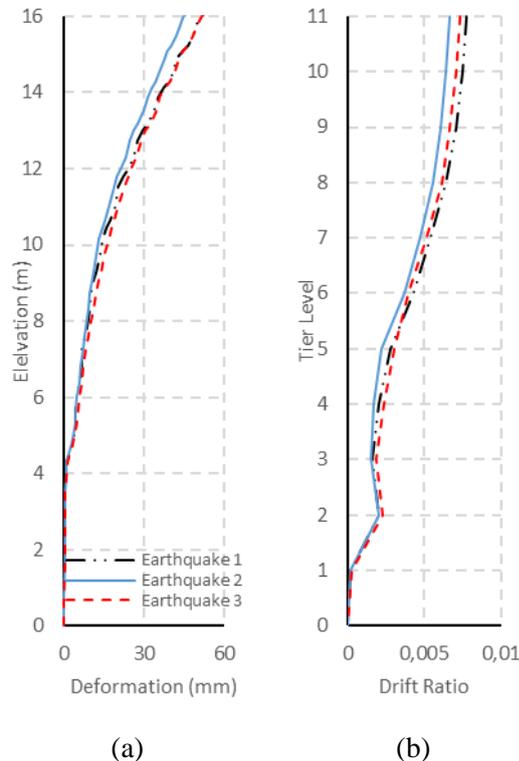
Gambar 8. Response spectra for acceleration and displacement and the period of interest of Meru Structure (green area)

Lebih detailnya respon akselerasi dan deformasi selama terjadinya gempa dapat dilihat pada gambar 9, dimana respon deformasi maksimum dari ujung atap atau tingkat puncak mencapai 50mm.



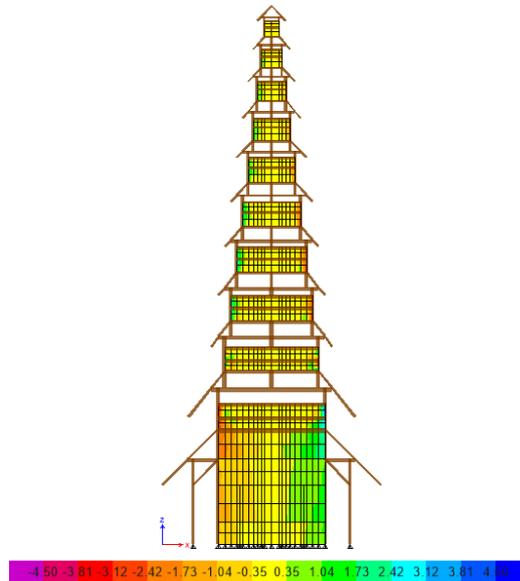
Gambar 9. (a)Acceleration-displacement relation in the structure during earthquakes (b)Displacement of the top tier during earthquake 1 (c)Earthquake 2, and (d) Earthquake 3

Lebih jelas mengenai perbandingan ketiga gempa yang digunakan terlihat pada gambar 10(a) menunjukkan seluruh deformasi Meru setinggi elevasinya. Gambar 10(b) menunjukkan perbandingan drift ratio tiap tingkat dari struktur Meru. Dari pengamatan drift ratio, hasil menunjukkan bahwa maksimum simpangan antar tingkat adalah sekitar 0.0078 atau 1/125. *Drift story* yang kecil ini menunjukkan performa seismik yang baik dari sebuah struktur kayu, dimana cukup untuk memenuhi tingkat keamanan dari struktur kayu tradisional yang batas ijin maksimum kemanannya adalah 1/30 berdasarkan *Japanese seismic design code for building*.



Gambar 10. (a) *Absolute maximum displacements and* (b) *drift response of the structure during earthquakes*

Hasil analisa tegangan dan regangan akibat deformasi selama gempa terjadi disajikan pada gambar 12. Selama gempa terjadi, tegangan dan regangan tentunya akan berubah ubah sesuai deformasi melalui kekuatan dari material. Tegangan maksimum yang di dapat dari ketiga gempa diatas adalah 3 MPa. Nilai ini masih lebih kecil dari limit kekuatan dari material penyusunnya baik kayu ataupun dinding bata yaitu 11 MPa dan 5 MPa, masing-masing. Dengan kapasitas yang lebih besar dari pada tegangan yang terjadi, maka komponen penyusun Meru akan tetap aman pada gempa dilevel ini. Sangat terlihat bahwa efek baik dari karakteristik respon seismic Meru yang memiliki deformasi relative kecil, sangat membantu dan sesuai untuk ukuran kapasitas material yang digunakan. Sehingga masuk akal bahwa Meru tingkat sebelas masih berdiri baik hingga sekarang.



Gambar 11. Tegangan Maksimum yang bekerja pada dinding pasangan bata dan panel kayu (maks = 3 MPa)

4. CONCLUSION

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, atau secara sederhana dapat dikatakan seperti deformasi katilever beam.
4. Dilihat pada tiap tingkat Meru, drift yang terjadi masuk dalam batas aman. Sesuai dengan guideline bangunan kayu Jepang
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. Analisis 2D, efek torsi tidak dipertimbangkan
2. Sambungan dianggap rigid sempurna, efek nonlinear belum diperhitungkan
3. Kombinasi beban angin tidak diperhitungkan
4. Peningkatan berat atap karena kemampuan menyerap cairan tidak diperhitungkan
5. Efek degradasi kekuatan material akibat pembusukan belum diperhitungkan

- Analisa terbatas pada meru tingkat 11, untuk meru tingkat 9, 7, 5 dan 2 masih perlu diteliti.

Meski begitu hasil analisa diatas dapat menjadi jembatan 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. REFERENCES

- Armeli, I. A., Agung, I. G., & Suryada, B. (2016). Penelitian yang dilakukan oleh. *Transform*, 2, 1–14.
- Dasar, D. I., & Meru, B. (n.d.). *Makna filosofis keberadaan ornamen*.
- 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)
- 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.
- Paramadhyaksa, I. N. (2008). *KONSEPSI YANG MELANDASI BAGIAN DASAR BANGUNAN MERU DI BALI*. Denpasar: MEDIA TEKNIK No.3.
- 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.
- Rita, R., et al. (2016). Traditional Building Materials in Balinese Architecture. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 437-444.
- 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. <https://doi.org/10.13189/cea.2020.080319>
- 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.
- Howe, L. E. A. (1983). An introduction to the cultural study of traditional Balinese architecture. *Archipel*, 25(1), 137–158.
- 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>
- 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.
- 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.
- Pranoto, A., & Marthanty, D. R. (2018). Analisis respon dinamik struktur Meru Bali. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 20(2), 101-108.
- 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.