

## Perilaku Struktur Bangunan Joglo Lambang Gantung Pendapa Agung Dalem Mangkubumen Yogyakarta akibat Gaya Lateral

Bayu Dwi Wisnantoro <sup>a,1\*</sup>, YE. Suharno <sup>b</sup>, Tri Yuniastuti <sup>c</sup>

a Prodi Arsitektur UWM, Dalem Mangkubumen KT III/237, Yogyakarta

b Prodi Arsitektur UWM, Dalem Mangkubumen KT III/237, Yogyakarta

c Prodi Arsitektur UWM, Dalem Mangkubumen KT III/237, Yogyakarta1 bdwismantoro@gmail.com\*

\*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<p>Sejarah artikel: Diterima Revisi Dipublikasikan: 28 Maret 2023</p> <p><b>Kata kunci:</b> joglo pendapa mangkubumen gaya lateral model</p>	<p>Keindahan Pendapa Agung Mangkubumen yang terletak di kawasan Dalem Mangkubumen belum banyak terungkap. Pendapa Agung Dalem Mangkubumen memiliki keunikan menggunakan struktur tiang yang terletak di sudut persilangan takir dan menggantung di dudur berfungsi sebagai tempat mengaitnya sunduk lambang gantung dan berperilaku sebagai batang tarik. Sedangkan sunduk tersebut sebagai tempat bertumpunya usuk dan atap penanggap. Atap pinggir ini sepenuhnya tergantung pada batang-batang tadi sehingga bisa leluasa bergoyang bila terkena gaya lateral. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji secara detail ketahanan struktur lambang gantung yang dipakai di Pendapa Agung Dalem Mangkubumen terhadap gaya lateral. Metode penelitian yang dipakai adalah observasi dan memodelkan struktur Pendapa Agung Dalem Mangkubumen menjadi bentuk miniatur. Langkah berikutnya adalah analisis stabilitas struktur dengan menguji model terhadap gaya lateral menggunakan alat simulasi tahan gempa (SIMUTAGA). Hasil dari penelitian ini adalah Pendapa Agung Dalem Mangkubumen masih mampu menahan gerakan arah lateral dengan getaran sedang dalam skala IV – V MMI. Akibat dari gerakan tersebut beberapa kolom Saka Guru mengalami pergeseran dari posisi semula sekitar 5 mm dan sambungan sunduk kili sedikit merenggang bergeser dari kedudukan semula sekitar 2 mm. Sedangkan di pojok Selatan-Barat tiga kolom penanggap mengalami keruntuhan dan terlepas purusnya.</p>
<p><b>Key word:</b> joglo pendapa mangkubumen lateral forces prototype</p>	<p><b>ABSTRACT</b></p> <p>The beauty of Pendapa Agung Mangkubumen which is located in the Dalem Mangkubumen area has not been widely revealed. Pendapa Agung Dalem Mangkubumen has the uniqueness of using a pole structure located at the corner of the takir cross and hanging from the dudur to function as a place to attach the sunduk lambang gantung and behave as a pull rod. While the sunduk serves as a place for the long wood and the roof of the penanggap. This fringe roof is completely dependent on the rods so that it can freely sway when exposed to lateral forces. The purpose of this study is to examine in detail the resistance of the lambang gantung structure used in Pendapa Agung Dalem Mangkubumen against lateral forces. The research method used is observation and modeling the structure of Pendapa Agung Dalem Mangkubumen into a miniature form. The next step is structural stability analysis by testing the model against lateral forces using an earthquake resistant simulation tool (SIMUTAGA). The result of this research is that Pendapa Agung Dalem Mangkubumen is still able to withstand lateral movement with moderate vibration on a scale IV – V MMI. As a result of this movement, several Saka Guru columns shifted from their original position of about 5 mm and the sunduk kili connection was slightly stretched from its original position of about 2 mm. Meanwhile, in the South-West corner, three penanggap columns collapsed and their purus was released.</p>

## Pendahuluan

Secara khusus bangunan-bangunan bangsal bergaya tradisional Jawa digunakan sebagai tempat dengan fungsi-fungsi utama atau penting dalam keraton. Karakteristik bangunan-bangunan bangsal di keraton dengan gaya tradisional Jawa dengan berbagai kelengkapannya menjadi hal yang unik, langka dan bernilai sejarah yang tinggi. Keunikan dan kelangkaannya mengingatkan bahwa hanya di Keraton Yogyakarta saja bangunan-bangunan itu berada dan lestari. Bahkan pengembangan tipologi joglo dengan klasifikasi tertinggi yaitu joglo lambang gantung yang dikembangkan oleh Sri Sultan Hamengkubuwono I juga hanya terdapat di Keraton Yogyakarta (Prabasmara, dkk. 2020).

Berdasarkan berbagai macam jenis rumah tradisional Jawa, bentuk joglo dianggap sebagai bentuk yang paling *masterpiece* dalam arsitektural masyarakat Jawa. Sisi kompleksitas dan sistem sambungan pada bangunan joglo juga termasuk yang paling rumit dan lengkap dibanding yang lainnya. Bentuk joglo memiliki sistem struktur penahan beban lateral yang berbeda dengan rumah Jawa jenis lain. Perbedaan tersebut terletak pada struktur penahan gaya lateral melalui pembebanan pusat bangunan yang berupa soko guru dan tumpang sari dengan tujuan bangunan menjadi lebih berat dan stabil bila terkena gaya lateral. Oleh karena itulah kestabilan kuda-kuda Saka Guru dijamin dengan angka keamanan yang cukup tinggi (Nelza, 2009).

Dengan semakin berkembangnya zaman, semakin berkembang pesat juga pengaruh-pengaruh budaya luar, maka keberadaan rumah-rumah nuansa tradisional tersebut semakin hari semakin tergantikan dengan hadirnya rumah bernuansa arsitektural modern. Padahal seni bangunan rumah adat di Indonesia yang sangat beragam tersebut masing-masing memiliki keunikan dan keunggulan. Selain bentuknya yang estetis, beberapa rumah adat cenderung memiliki keunggulan dari segi kekuatan strukturalnya. Bahkan sudah terbukti bahwa sebagian besar rumah adat di Indonesia memiliki struktur bangunan yang tahan gempa (Nuranita, 2013)

Ketahanan sistem konstruksi bangunan tradisional terhadap gempa dibuktikan dengan kondisi bangunan-bangunan tradisional masih tetap kokoh dibandingkan dengan bangunan yang didirikan masa kini. Hasil penelitian perilaku bangunan tradisional Jawa terhadap gempa menunjukkan bahwa struktur rumah tradisional Jawa (Joglo) aman dalam beradaptasi dengan kondisi alam ketika terjadi gempa sedang daerah zona gempa 3 (apabila sistem tumpuan dibuat jepit) (Prihatmaji, 2007).

Penggunaan sambungan konstruksi kayu *knock down* diklasifikasikan sebagai sistem *koncian* atau pengunci (*interlocking system*) yang berupa takik, tumpu, tekan, kait, dan tarik. Sistem tersebut mengakibatkan sifat fleksibilitas, redaman, stabilitas, elastisitas pada rangka bangunan sehingga menjadi satu kesatuan dalam sistem bangunan yang responsif terhadap gempa. Sistem sambungan yang bersifat tidak kaku dapat merespon dengan baik gaya yang terjadi akibat gempa, sehingga tidak terjadi patah seperti struktur bangunan yang menggunakan beton. (Komala Dewi, dkk, 2019).

Salah satu penelitian mengenai struktur dan konstruksi Joglo lambang gantung pada Bangsal Sri Manganti Keraton Yogyakarta memberikan kesimpulannya bahwa peredaman gaya lateral terjadi karena adanya friksi internal dan eksternal pada elemen struktur. Konstruksi lambang gantung dapat memperbesar friksi yang terjadi pada sistem (Putri, ND., 2018). Gaya lateral adalah gaya arah horisontal yang bekerja membebani pondasi, tiang, balok, atau atap yang bisa berupa beban gempa, beban angin, beban tumbukan yang terjadi sesaat atau tidak permanen. Safrudin (2012) dalam penelitiannya yaitu mengkaji kestabilan konstruksi joglo akibat beban gempa dengan penambahan struktur balok tumpang sari menggunakan metode analisis numeris mengemukakan hasilnya bahwa semakin banyaknya jumlah balok tumpang sari yang dipakai, lebih berpengaruh terhadap penambahan beban bangunan dari pada peningkatan kekuatan lateral bangunan joglo. Sedangkan pada proporsi jumlah balok tumpang sari tertentu, terjadi penurunan nilai simpangan bangunan joglo. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak balok tumpang sari yang dipakai, dapat menurunkan kestabilan bangunan joglo. Balok tumpang sari ini dapat meningkatkan kestabilan bangunan joglo apabila dalam proporsi jumlah tertentu, yang di dukung dengan proporsi dimensi tumpang sari, sunduk kili, tutup kepuh dan soko guru tertentu.

Berdasarkan SNI 03-1726-2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan oleh Dinas Pekerjaan Umum tahun 2006, ada tiga prinsip yang penting diperhatikan dalam pembangunan rumah kayu tahan gempa yaitu memiliki denah yang sederhana dan simetris, pilihan material atau bahan bangunan harus seringan mungkin, dan sistem konstruksi yang memadai dalam mengurangi resiko gempa.

Rumah tradisional Joglo memiliki 4 soko guru yang menahan rumah bagian dalam tetap berdiri sampai batas skala MMI tertentu. Gempa bumi akan mengakibatkan kerusakan terjadi pada dinding luar yang merupakan dinding pemikul, sementara ruang dalam yang ditahan 4 soko guru tidak mengalami rusak berat atau roboh. Salah satu penyebab rendahnya tingkat kerusakan adalah konstruksi yang menggunakan 4 soko guru tersebut merupakan konstruksi kayu dengan sambungan dari kayu serta menggunakan pondasi umpak, sehingga lebih bersifat *ductile* dalam merespon guncangan gempa. Bangunan tradisional joglo maupun limasan tersebut memiliki respon yang lebih baik terhadap guncangan gempa bumi ketika dalam bentuk aslinya (Perdana, 2018).

Rumah kayu memang cenderung memiliki bahan bangunan yang ringan, namun bila tidak memperhatikan prinsipnya bisa jadi terjadi kesalahan konstruksi terutama dalam hal pemilihan bahan bangunan. Sebagai contoh, jika kita menggunakan atap genteng dan menggunakan kayu-kayu berat pada kudakuda atap, maka saat terjadi gempa struktur bagian bawah akan mengalami kerusakan karena struktur atas yang terlalu berat (Rinaldi, 2015).

Teknologi konstruksi bangunan tradisional kaya akan ketahanan terhadap gempa, jika dirawat dengan baik. Pemeliharaan dan perbaikan elemen bangunan-bangunan tradisional relatif sederhana, tanpa mempengaruhi struktur bangunan dan elemen bangunan lainnya, dibandingkan dengan struktur konstruksi beton kaku (Shrestha, dkk., 2016). Keberadaan Pendapa Agung Dalem Mangkubumen sarat akan nilai-nilai dan keagungan yang terdapat pada bangunan tersebut, terlebih merupakan arsitektur tradisional Jawa yang masih ada dan terawat dalam lingkup Kraton Yogyakarta. Akan sangat disayangkan bila dilupakan dan kemudian tidak mendapat atensi khusus bagi generasi masa kini. Tak luput juga ancaman kerusakan akibat bencana alam yang terjadi pada wilayah Yogyakarta, seperti gempa bumi. Gempa bumi Yogyakarta pada tahun 2006 meluluhlantakkan beberapa bangunan permanen tembokan. Terbukti bahwa beberapa bangunan tradisional termasuk bangunan di lingkungan Kraton masih berdiri kokoh kecuali hanya Bangsal Trajumas salah satu bangunan di kompleks Kraton Yogyakarta yang rusak karena ada salah satu batang penyangga yang sudah keropos. Melihat permasalahan yang ada di atas maka bisa disimpulkan tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji secara detail ketahanan struktur joglo lambang gantung yang dipakai di Pendapa Agung Dalem Mangkubumen terhadap gaya lateral. Pendapa Agung Dalem Mangkubumen merupakan area publik yang sampai saat ini masih dipakai untuk berbagi kegiatan sosial kemasyarakatan maupun pendidikan, sebagai salah satu bangunan cagar budaya maka layak untuk dilakukan kajian atau penelitian yang lebih detail.

## Metode

Secara ringkas langkah-langkah penelitian dijelaskan sebagai berikut :

1. Melakukan pengamatan secara visual tentang kondisi terkini Pendapa Agung Mangkubumen.
2. Pengambilan data dengan melakukan pengukuran langsung berupa jarak dan dimensi kolom untuk diperoleh data-data terkini kondisi obyek amatan sebagai data primer, serta membuat sketsa bentuk joglo lambang gantung;
3. Pembuatan prototipe/model uji joglo lambang gantung berdasarkan data-data primer; Jenis kayu yang digunakan dalam pemodelan struktur adalah kayu jati, mengacu pada jenis kayu yang digunakan pada bangunan joglo lambang gantung di Pendapa Agung Mangkubumen Yogyakarta.
4. Melakukan pengujian prototipe/model uji di laboratorium struktur Program Studi Arsitektur Universitas Widya Mataram akibat gaya lateral di atas alat shaking table atau alat SIMUTAGA (Alat Simulasi Tahan Gempa) tipe SWD-1CM. Selain itu juga menggunakan alat/aplikasi *vibration* untuk mengetahui beban gempa dan mengalibrasi ke skala MMI; Menurut Andrew & Chitturi (2015) alat meja goyang seismik dapat digerakkan oleh gerakan aktuasi dari arah yang berbeda oleh pelaku yang menunjukkan derajat kebebasan (DOF) dari meja goyang yang dicapai melalui konfigurasi yang berbeda seperti uni-aksial, bi-aksial, dan tri-aksial. Di bidang teknik gempa, peneliti dapat menentukan apakah struktur atau model dapat bertahan dari gempa bumi yang sebenarnya jika sistem pemodelan meja goyang seismik cukup akurat untuk memprediksi dan mensimulasikan gerakan tanah yang serupa. Percobaan-pengujian ini juga membantu memberikan solusi untuk masalah di lapangan, jika terjadi bencana gempa ringan yang tidak cukup kuat untuk menyebabkan runtuhnya bangunan tetapi cukup untuk menyebabkan kerusakan pada peralatan yang mahal dan peka terhadap gempa di bangunan seperti rumah sakit.

5. Menganalisa perilaku struktur kolom (saka guru dan penanggap), balok, dan atap terhadap goyangan arah horisontal dari data-data hasil pengujian yang dikaitkan dengan teori-teori yang sesuai peraturan dan literatur yang mendukung mengenai gaya lateral, dengan melakukan percobaan model diberi goyangan 43 kali selama 30 detik arah Barat – Timur dan goyangan 63 kali selama 45 detik arah Utara – Selatan.

### Hasil dan pembahasan

Sistem Struktur Kolom Pendapa Agung Mangkubumen menggunakan pengekan di bagian ujung-ujungnya dengan sistem jepit – sendi. Kolom bagian bawah merupakan sistem sendi, yaitu pengekan tersebut mampu menahan geser dan gaya arah vertikal namun tidak mampu menahan rotasi atau momen. Sedangkan kolom bagian atas dikategorikan sebagai jepit, yaitu pengekan tersebut mampu menahan geser, arah vertikal, dan mampu menahan rotasi atau momen (Wisnantoro, 2022).

Beberapa perlakuan terhadap obyek yang diamati, disesuaikan dengan kondisi sebenarnya sebagai berikut :

1. Umpak di pendapa bagian bawah terhalang oleh lantai keramik sehingga kondisi tersebut diasumsikan kondisi statis tidak mudah bergerak, dalam pemodelan kondisi umpak diikat dengan meja alat Simutaga. Sedangkan duduk diberi pengikat kawat yang diikatkan dengan balok penanggap.



Gambar 1. Perlakuan Umpak dan ujung duduk dengan kolom

2. Umpak dan kolom dikait dengan menggunakan selotip/isolasi agar tidak mudah lepas apabila terkena goyangan tetapi tidak mengubah perilaku sendi yang terjadi di pertemuan tersebut.



Gambar 2. Perlakuan Kolom dengan Umpak

3. Beban atap dan balok diperhitungkan sebesar  $\pm 6000$  kg disetarakan dengan berat total 3 buah buku sebesar 6,117 kg.

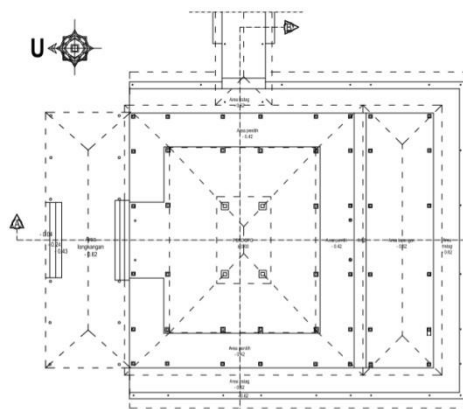


Gambar 3. Perlakuan Beban Atap dan Balok

Penelitian ini menguji model bangunan joglo yang terdiri dari kolom Saka Guru sampai dengan kolom penanggap saja dengan melakukan dua kali percobaan. Alat/aplikasi vibratioan diletakkan di atas meja uji, untuk menghitung seberapa besar goyangan yang terjadi dalam skala MMI.

Percobaan 1 dengan arah gerakan ke Barat – Timur dan kecepatan yaitu 40 kali selama 30 detik, dengan hasil sebagai berikut :

1. Satu kolom Saka Guru sebelah Barat mengalami pergeseran umpak sekitar 5 mm, sehingga mengakibatkan sambungan sunduk merenggang sekitar 2 mm.
2. Satu kolom Saka Guru sebelah Timur mengalami pergeseran umpak sekitar 5 mm.



Gambar 4. Denah pergeseran Saka Guru Pendapa Agung Dalem Mangkubumen

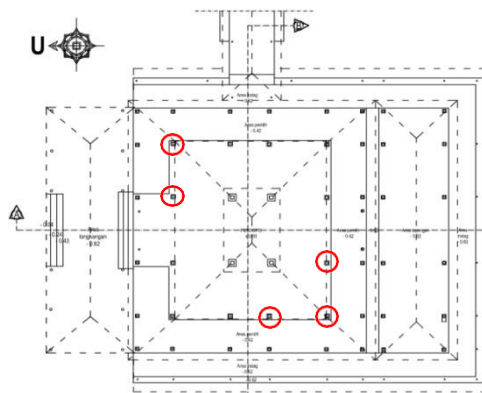
Percobaan 2 dengan arah gerakan ke Utara – Selatan dan kecepatan yaitu 63 kali selama 45 detik, serta dudur penanggap diberi beban atap di sisi Utara, Selatan, dan Timur sedangkan sisi Barat tidak diberi beban. Hasilnya sebagai berikut :

1. Semua kolom Saka Guru mengalami pergeseran umpak sekitar 3 – 5 mm.
2. Tiga kolom penanggap sebelah Selatan – Barat mengalami keruntuhan dan terlepas purusnya.
3. Satu kolom penanggap di pojok Utara – Timur mengalami kemiringan, satu kolom lagi terlepas dari umpaknya.
4. Blandar pengeret lambang gantung yang menopang usuk penanggap dan atap di sisi Utara

mengalami keruntuhan.



Gambar 5. Blander penggerak lambang gantung runtuh

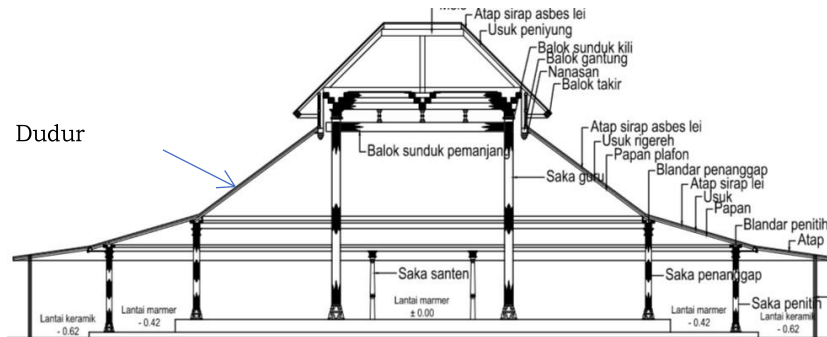


Gambar 6. Denah keruntuhan/pergeseran kolom penanggap Pendapa Agung Dalem Mangkubumen

Pembahasan dari hasil pengujian perilaku bangunan joglo lambang gantung Pendapa Agung Dalem Mangkubumen tersebut mengalami hal sebagai berikut :

1. Arah gerak dari gaya lateral berbanding terbalik dengan condongnya kolom pada saka guru.
2. Sambungan antara kolom dengan umpak disebut sebagai tumpuan sendi, sehingga memungkinkan kolom terlepas dari umpak akibat gaya dorong ke atas ketika terkena beban lateral. Karena fungsi kolom sebagai sarana untuk mentransfer beban atap dan balok menuju umpak, sehingga gaya dorong ke atas akan dilawan oleh beban atap dan balok. Apabila beban atap dan balok lebih besar dari gaya dorong ke atas, maka kolom tidak akan mengalami guling, demikian pula sebaliknya. Perbandingan jarak antar kolom saka guru ( $L$ ) dengan tinggi kolom saka guru ( $h$ ) akan mempengaruhi daya angkat pondasi. Jika  $h > L$  maka pondasi akan terangkat akibat gaya lateral, sebaliknya jika  $L > h$  maka kemungkinan terjadi daya angkat akan kecil atau bahkan tidak terjadi karena pendapa akan lebih stabil.
3. Sedangkan sambungan kolom dengan blandar menggunakan sistem sunduk/kili akan memberikan keleluasaan kolom dan balok dalam merespon adanya gaya lateral.
4. Akibat gerakan lateral, duduk penanggap yang menggantung di kayu lambang gantung mendesak blandar penanggap sehingga memberi beban tambahan ke kolom penanggap. Jadi, kolom penanggap bagian pojok selain menerima beban atap juga menerima beban desak dari duduk penanggap, sehingga beberapa kolom penanggap mengalami keruntuhan dan terlepas dari purusnya.
5. Frekuensi dan lama gerakan lateral mengakibatkan dampak kerusakan atau keruntuhan yang besar, terbukti dari hasil percobaan 2.
6. Keruntuhan kolom penanggap terjadi di bagian Selatan – Barat karena di bagian Barat tidak terbebani atap, sehingga tidak ada penahan blandar penanggap.

7. Keruntuhan blandar pengeret lambang gantung di bagian Utara akibat beban lateral arah Utara – Selatan yang memberikan efek dorong besar. Dorongan besar tersebut mengakibatkan blandar seakan tertarik keluar, sehingga diperlukan sambungan yang kuat antara blandar dengan kayu lambang gantung.



Gambar 7. Letak dudur penanggap Pendapa Agung Dalem Mangkubumen

## Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai perilaku bangunan joglo struktur lambang gantung Pendapa Agung Dalem Mangkubumen, bisa ditarik kesimpulan bahwa pengaruh beban lateral terhadap bangunan masih bisa diantisipasi dengan perilaku dan kekuatan sambungan sunduk kili. Bangunan joglo masih mampu menahan beban lateral setara dengan IV – V skala MMI di bagian bawah, sedangkan di bagian atap masih mampu menahan beban lateral setara VI – VII skala MMI. Dampak yang terjadi akibat beban lateral menyebabkan umpak kolom Saka Guru bergeser sejauh 3 – 5 mm dan beberapa kolom penanggap mengalami keruntuhan dan terlepas purusnya.

Kinerja bangunan merupakan kemampuan suatu bangunan dan penilaian kondisi diperlukan karena harus menjadi dasar pengukuran kinerja. Sementara itu, penilaian kondisi merupakan salah satu fungsi utama manajemen aset. Selain itu, terdapat hubungan positif antara kondisi bangunan dengan kinerja pengguna. Dengan menilai kondisi bangunan, pengambilan keputusan tentang rencana dan strategi pemeliharaan akan lebih mudah. Untuk menilai kondisi bangunan memerlukan beberapa langkah dan proses namun ada masalah dalam inspeksi visual (Wahida, 2012)

Tujuan umum dari prinsip-prinsip pelestarian struktur lama adalah untuk melestarikan keaslian struktur dan fungsi aslinya dalam kondisi yang cukup aman. Keputusan perbaikan dan pemeliharaan harus diambil sesuai dengan masing-masing struktur dan fitur detail strukturalnya. Dalam kasus tanpa kemungkinan pemeliharaan, rincian yang berkaitan dengan struktur asli harus disimpan sebagai catatan dalam struktur. Membuat beberapa penilaian strategis pada struktur kayu kuno, seseorang harus mempertimbangkan dan mempertimbangkan hal-hal berikut: nilai historis dari kain tersebut, kondisi keseluruhan struktur dan karenanya, Skala perbaikan, Pilihan untuk penggunaan di masa depan (Zeren, M & Karaman, O, 2015).

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dan apresiasi kepada pihak-pihak yang telah berperan dalam penelitian/artikel, yaitu Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan bantuan dana, Ketua Program Studi Arsitektur Universitas Widya Mataram yang telah memfasilitasi peminjaman alat SIMUTAGA, dan Kepala Laboratorium Struktur Program Studi Arsitektur Universitas Widya Mataram.

## Referensi

Andrew, B and Chitturi, V. 2015. *Design and Development of a Seismic Shaking Table for Evaluation and Analysis of the Performance of Elastomeric Bearing*. Conference paper.

- Dewi, N.I.K, dkk. 2019. *Interlocking System Pada Konstruksi Knock Down Bangunan Tradisional Jawa Tajug Sebagai Teknologi Responsif Gempa*. Bandung : Jurnal Aritektur Zonasi Vol. 2, No. 3, Oktober 2019 : 147 – 159.
- Nelza, M. 2009. *Desain Gaya Arsitektur Tanggap Lingkungan Iklim Tropis (Analisa Objek Arsitektur Vernakular Jawa: Joglo Lambangsari)*. Malang : Tugas terstruktur MPK Fisika Bangunan. Universitas Brawijaya.
- Nuranita, B. 2013. *Kajian Potensi Rumah-Rumah Adat Di Indonesia sebagai salah satu Solusi Dalam Mitigasi bencana Alam Gempa*. Bandung : Karya Tulis Ilmiah. Institut Teknologi Nasional.
- Perdana, IP. 2018. *Evaluasi Kerentanan Bangunan Rumah Masyarakat Terhadap Gempabumi Di Desa Wisata Bugisan Kecamatan Prambanan Kabupaten Klaten*. Yogyakarta : Tesis. MTPBA Universitas Gadjah Mada.
- Prabasmara, dkk. 2020. *Kajian Struktur Bangunan Tradisional Jawa pada Bangsal Kencana Keraton Yogyakarta*. Yogyakarta : Jurnal Arsitektur Sinektika Vol. 16, No. 1, Januari 2019 : 44 – 51.
- Prihatmaji, Y. P., 2007. *Perilaku Rumah Tradisional Jawa “Joglo” Terhadap Gempa*. Yogyakarta : Jurusan Arsitektur Universitas Islam Indonesia. Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 35, No. 1, Juli 2007: 1 – 12.
- Putri, ND. 2018. *Struktur dan konstruksi Joglo lambang gantung pada Bangsal Sri Manganti Keraton Yogyakarta*. Bandung: Skripsi Universitas Katolik Parahyangan.
- Rinaldi, Z., dkk. 2015. *Analisa Konstruksi Tahan Gempa Rumah Tradisional Suku Besemah Di Kota Pagaralam Sumatera Selatan*. Jakarta : Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 17 November 2015
- Safrudin, A. 2012. *Kajian Kestabilan Konstruksi Joglo Akibat Beban Gempa dengan Penambahan Struktur Balok Tumpang Sari Menggunakan Metode Analisis Numeris*. Malang: Jurnal Muatan Lokal. Universitas Negeri Malang.
- SNI 03-1726-2002, 2006. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan oleh Dinas Pekerjaan Umum*. BSN. Jakarta.
- Shrestha, S., dkk. 2016. *Earthquake Damage Assessment in the Traditional Town of Sankhu, Kathmandu*. Nepal : Journal of the Institute of Engineering, 2016, 12(1): 27-38
- Wismantoro, BD. 2022. *Kajian Perilaku Kolom Struktur Lambang Gantung Pendopo Agung Mangkubumen Terhadap Beban Aksial*. Yogyakarta : Jurnal Arsitektur Pendapa Vol 5, No 1, Maret 2022 : 1 – 7.
- Wahida, N., dkk. 2012. *Building Condition Assessment Imperative and Process*. Malaysia : Procedia - Social and Behavioral Sciences 65 ( 2012 ) 775 – 780
- Zeren, M & Karaman, O. 2015. *Analysis of Traditional Building Techniques and Damage Assessment Of Traditional Turkish House: The Study of Timber-framed Kula Houses*. Archnet-IJAR, Volume 9 - Issue 1 - March 2015 - (261-288) – Regular Section International Journal of Architectural Research