

## ***STRUKTUR DAN DESAIN BANGUNAN TRADISIONAL BALI DI BANJAR CEKENG, DESA SULAHAN, BALI***

**Ida Ayu Putu Sri Mahapatni<sup>1</sup>, Made Novia Indriani<sup>2\*</sup>, I Putu Laintarawan<sup>3</sup>, I Wayan Artana<sup>4</sup>**

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hindu University of Indonesia

---

### **Informasi Makalah**

Dikirim, 22 Februari 2023

Direvisi, 31 Maret 2023

Diterima, 1 April 2023

---

### **Kata Kunci:**

Struktur Bangunan

Desain

Bangunan Tradisional

Banjar Cekeng

---

### **INTISARI**

Struktur dan desain bangunan tradisional Bali masih menjadi ciri utama, terutama dalam hal menjaga budaya, masyarakat, dan agama tetap hidup di bangunan tua. Penelitian tentang struktur desain bangunan masih perlu dilaporkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur dan desain bangunan tradisional Bali di Banjar Cekeng, Desa Sulahan, Bali. Desain studi metode campuran digunakan untuk mengarahkan warga Br Cekeng ke gedung sekanem dan Paon. Analisis data dilakukan secara deskriptif. Hasilnya, struktur dan desain Sakanem dan Paon (dapur) tradisional Bali di Banjar Cekeng memenuhi SNI berdasarkan analisis struktur. Temuan menunjukkan kekuatan struktur balok dan kuda bale Sakanem dan Paon memiliki kekakuan vertikal yang cukup untuk menahan beban batas kerja. Selanjutnya pada deviasi lateral struktur bangunan Sakanem dan Paon memiliki kekakuan lateral yang cukup untuk menahan beban gempa pada arah x dan y. Analisis gaya terfaktor maksimum diperoleh hasil struktur model 1 (Sakanem) yang terdiri dari komponen struktur kolom dan balok yang terbuat dari bahan kayu, dan model 2 (Paon) dengan komponen struktur kolom beton, bambu, dan balok kayu. Kapasitas lentur dan geser nominal balok Sakanem dan Paon lebih besar dari kapasitas lentur dan geser ultimit. Kapasitas gabungan lentur dan kolom aksial pada bangunan Sakanem dan Paon lebih kecil dari kapasitas lentur dan aksial kolom ultimit dan praktis pada bangunan Paon, tidak melewati garis batas interaksi.

---

### **ABSTRACT**

The structure and design of traditional Balinese buildings are still great features, especially when it comes to keeping culture, society, and religion alive in old buildings. Research on building design structures still needs to be reported. This study aims to analyze the structure and design of traditional Balinese buildings in Banjar Cekeng, Sulahan Village, Bali. The mixed method study design was used to direct residents of Br Cekeng to *Sekanem* and *Paon* buildings. Data analysis is carried out descriptively. As a result, the traditional Balinese structure and design of the *Sakanem* and *Paon* (kitchen) in Banjar Cekeng meet SNI based on structural analysis. The findings show the strength of the structure for the beams and that the bale *Sakanem* and *Paon* horses have sufficient vertical rigidity to withhold the working boundary loads. Furthermore, at the lateral deviation of the *Sakanem* and *Paon* building structures, they have sufficient lateral rigidity to withstand the earthquake loads in the x and y directions. Maximum factored force analysis obtained the results of the structures of models 1 (*Sakanem*), consisting of column and beam structure components made of wooden material, and models 2 (*Paon*), with concrete column structure components, bamboo, and wooden beams. The nominal bending and sliding capacities of *Sakanem* and *Paon* beams are greater than the ultimate bending and sliding capacities. The combined capacity of bending and axial columns in *Sakanem* and *Paon* buildings is smaller than the bending and axial capacity of ultimate and practical columns in *Paon* buildings, not crossing the interaction boundary line.

---

### **Keyword:**

*Building Structure*

*Design*

*Traditional Building*

*Banjar Cekeng*

**Korespondensi Penulis:**

Made Novia Indriani  
Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Hindu Indonesia  
Jl. Sanggalangit, Tembawu, Penatih, Denpasar 80238  
Email: madenovia@gmail.com

**1. PENDAHULUAN**

Bangunan tradisional Bali identik dengan struktur dan bagian khusus yang memiliki makna, yang diberikan makna oleh para perancang dan pembuatnya [1] [2]. Peran kepercayaan lokal dalam penyusunannya cenderung membuat sebuah bangunan menjadi layak huni dan menjadikan aturan dasar masyarakat setempat sebagai kearifan lokal [3] [4] [5]. Di Bali, terdapat istilah "*undagi*" yang berperan dalam menjaga nilai-nilai lokal sebuah bangunan, salah satunya di Banjar Cekeng, Desa Sulahan, Susut Bangli [6] [7]. Setiap tradisi tercermin dari cara bangunan tersebut dibangun. Elemen-elemen yang terdapat pada bagian bangunan umumnya memiliki pola, bentuk, dan fungsinya masing-masing. Menurut kearifan lokal Bali, struktur atap rumah (atas), struktur kolom dan balok (tengah), dan struktur pondasi (bawah) merupakan bagian-bagian yang memiliki makna dan aturannya masing-masing [8]. Dalam konsep Tri Hita Karana, struktur bangunan dibagi menjadi tiga bagian yaitu *utama* (bagian atap), *madya* (bagian badan bangunan), dan *nista* (bagian pondasi bangunan) [9].

Banjar Cekeng merupakan desa wisata yang mirip dengan Desa Wisata Panglipuran [10]. Banjar Cekeng memiliki beragam destinasi wisata alam dan lingkungan, serta sosial budaya masyarakat yang beragam, termasuk bangunan yang masih tradisional dan mengikuti aturan-aturan yang telah diwariskan secara turun-temurun [11]. mengatakan bahwa masyarakat Bali menghadapi tantangan dan ancaman dalam menjaga dan melestarikan kearifan lokalnya [12]. Kemajuan teknologi menyebabkan pola kehidupan masyarakat Bali tanpa disadari secara perlahan-lahan berubah. Kebiasaan sehari-hari serta perubahan lingkungan [13] [14].

Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya perubahan yang signifikan pada pola bangunan di pekarangan di Desa Penglipuran Bangli [15]. Selain itu, di permukiman tradisional Penglipuran Bangli, nilai-nilai tradisi kearifan lokal mulai hilang karena modernisasi [16]. Dampak pariwisata membuat pergeseran kualitas dan mengakibatkan perubahan dalam berbagai aspek, termasuk pola hidup masyarakat [17] [18] [19]. Hal ini dapat dilihat dari bagaimana pemerintahan dijalankan dan di mana bangunan dan struktur berada. Kurangnya literatur tentang struktur bangunan rumah tradisional di Banjar Cekeng, Bangli. Kami menunjukkan dan menjelaskan struktur bangunan secara lebih rinci sehingga bisa mendapatkan gambaran lengkap tentang bagaimana bangunan disatukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur bangunan tradisional Bali di Banjar Cekeng, Desa Sulahan, Bali.

**2. METODE**

Penelitian ini menggunakan analisis metode campuran terhadap struktur dan desain bangunan tradisional Bali di Banjar Cekeng. Penelitian dilakukan melalui wawancara, observasi, dan dokumentasi. Data primer diperoleh langsung dari responden yang tinggal di Banjar Cekeng dengan melibatkan kelihan desa adat, kelihan banjar, dan pemerintah setempat. Pengambilan data menggunakan *purposive sampling* [20] dengan menetapkan kriteria inklusi meliputi a) umah adat yang masih memiliki *bale*; b) *bale* atau bangunan lain yang berada di dalam umah yang masih memiliki perapian; c) bangunan yang mencerminkan kearifan lokal. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif [21], yang dilanjutkan dengan menyusun berbagai indikator terkait struktur bangunan dan risiko yang ditimbulkan.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan pengamatan, bangunan tradisional sudah banyak yang dimodifikasi, serta banyak bangunan-bangunan hunian yang mengarah ke modern. Yang eksistensi adalah tata letak bangunan. Berikut ini dokumentasi bentuk-bentuk bangunan dari hunian krama adat:

- a) umah tradisional yang masih memiliki bale;



**Gambar 1. Bale Dangin**

*Bale dangin* atau *bale sakanem* karena jumlah saka atau tiangnya 6 buah. Fungsi bangunannya adalah acara *pitra yadnya* dan *manusa yadnya*. Jumlah *bale* terdiri 2 bilik atau 2 sisi, bilik yang timur hanya digunakan untuk upacara *pitra yadnya* dan *manusa yadnya*. Tetapi bilik yang satunya, bisa juga digunakan untuk tempat tidur orang yang dituakan.

- b) bale atau bangunan lain yang terletak di umah yang masih memiliki perapian;



**Gambar 2. Bale Meten /Paon**

*Paon* merupakan tempat yang digunakan untuk memasak, yang terdiri dari perapian. *Paon* juga disebut *bale meten* difungsikan sebagai tempat tidur, sehingga disamping ada tempat untuk memasak, juga dilengkapi dengan *bale* yang sederhana.

- c) struktur yang mencerminkan kearifan lokal.



**Gambar 3. Mrajan**

*Mrajan/sanggah* merupakan tempat untuk melakukan kegiatan persembahyangan. Setiap *krama adat* baik *krama adat pengayah* maupun *krama adat pekarangan*, mempunyai *mrajan/sanggah* yang lengkap dengan beberapa jenis *pelinggih*.

### 3.1. Analisis Struktur Bangunan Tradisional Bali

Dalam analisis struktur bangunan tradisional Bali, *bale dangin* (*sakenan*) dan *Paon* (dapur) dipilih karena merupakan jenis bangunan yang terdapat di Banjar Cekeng. Dalam analisis struktur, dilakukan analisis dan pengkajian terkait kekakuan dan kekuatan struktur serta beban-beban batas yang bekerja. Jika bentuk, pola, struktur, dan lokasi bangunan tidak sesuai dengan aura, maka dengan mengetahui seberapa kaku dan kuatnya bangunan tersebut dapat membantu menemukan pola risiko.

### 3.2. Bahan Bangunan Tradisional Bali

Material yang digunakan pada bangunan *Sakanem* adalah kayu kamper untuk saka dan kayu Merbau untuk balok (kuda-kuda). Kayu kamper memiliki modulus elastisitas sebesar 5865,52 MPa (Kode Mutu E11) dengan properti material sebagai berikut: nilai referensi desain ( $F_b = 9,1$  MPa,  $F_t = 8,0$  MPa,  $F_c = 8,0$  MPa,  $F_v = 1,06$  MPa,  $F_{c\perp} = 2,13$  MPa,  $E = 11000$  MPa dan  $E_{min} = 5500$  MPa, *Poisson ratio* = 0,3). Sedangkan modulus elastisitas material kayu Merbau adalah 16000 MPa (Kode Mutu E16) dengan sifat-sifat material sebagai berikut: nilai acuan desain ( $F_b = 15$  MPa,  $F_t = 13,2$  MPa,  $F_c = 12,6$  MPa,  $F_v = 1,76$  MPa,  $F_{c\perp} = 3,52$  MPa,  $E = 11000$  MPa dan  $E_{min} = 5500$  MPa, *Poisson ratio* = 0,3) berdasarkan SNI 7973:2013 tentang spesifikasi desain konstruksi kayu (SNI, 2013). Sementara itu, material yang digunakan pada bangunan *Paon* adalah bambu dan kolom beton yang praktis. Modulus elastisitas bambu rata-rata adalah 4800 MPa. Sifat-sifat material fungsional: Mutu beton K175, mutu baja tulangan memanjang = 320 MPa, dan mutu baja tulangan melintang = 240 MPa.

### 3.3. Perhitungan Beban pada Bangunan Tradisional Bali

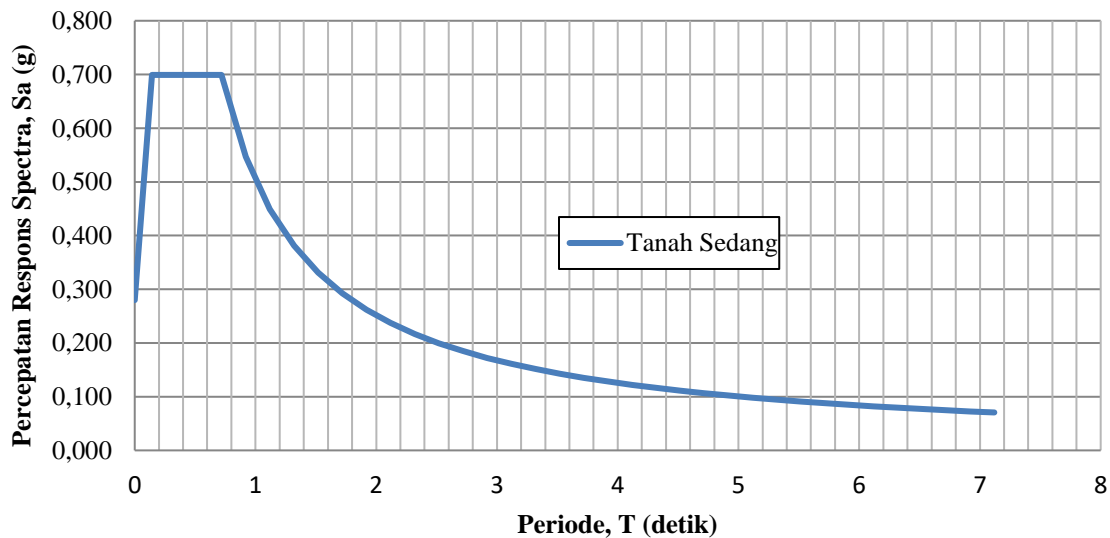
Dalam studi ini, beban yang diperhitungkan adalah beban mati (berat komponen struktur), beban mati tambahan, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beban mati, beban hidup, dan beban angin mengacu pada SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, [23] [24].

Beban mati adalah beban berat komponen strukturnya, yang langsung dihitung oleh Perangkat Lunak berdasarkan berat input volume. Beban mati tambahan meliputi: berat atap bambu = 100 kg/m<sup>2</sup>, berat atap genteng = 50 kg/m<sup>2</sup>, beban hidup pekerja = 100 kg, beban hidup lantai kayu = 200 kg/m<sup>2</sup> sesuai dengan SNI 1727 Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. Perhitungan beban angin pada atap mengacu pada [25] SNI 1727:2020. Kategori risiko bangunan = II (Tabel 1.5-1), kecepatan angin dasar ( $V$ ) = 40 mph, parameter beban angin: faktor arah angin ( $k_d$ ) = 0,85 (Pasal 26.6 & Tabel 26.6-1), kategori eksposur = B (Pasal 26.7), faktor topografi ( $K_{zt}$ ) = 1,00 (Pasal 26.8 & Tabel 26.8-1), faktor elevasi permukaan tanah ( $K_e$ ) = 1,00 (Pasal 26.9), faktor efek hambusan angin,  $G/G_f$  0,85 (Pasal 26.11), koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ ) = 0,18 (Pasal 26.13 dan Tabel 26.13-1), koefisien eksposur tekanan velositas,  $K_z$  atau  $K_h$  (Tabel 26.10.1). Perbandingan ( $k_z/k_h$ ) = 0,7. Tekanan kecepatan  $q_z$ , juga dikenal sebagai persamaan  $q_h$  (26.10-1). Tekanan angin  $q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2$  (N/m<sup>2</sup>);  $V$  dalam m/s (26.10-1.si),  $q_z = 583.576$  (N/m<sup>2</sup>). Koefisien tekanan eksternal,  $C_p$ , atau  $C_N$  (Gambar 27.3). Rasio  $H/L = 2,5$  (struktur enam lantai) dan rasio  $h/L = 1,1$  Sudut kemiringan atap = 37 derajat (struktur enam lantai dengan tembok pembatas). Koefisien angin tekan dan hisap masing-masing adalah 0,2 dan 0,6 (untuk struktur saka enam dan dapur).

Beban gempa mengacu pada SNI-1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung [26], untuk struktur bangunan gedung dengan pengaruh gempa beraturan rencana dianalisis sebagai beban gempa statik ekuivalen. Sedangkan untuk struktur gedung tidak beraturan dianalisis sebagai beban gempa dinamik. Fungsi gedung adalah rumah tinggal. Kategori resiko = II dan faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1 (Tabel 3 dan 4, SNI 03-1726-2019). Jenis tanahnya adalah tanah sedang dengan  $N = 20$ , dan klasifikasi situsnya adalah SD. Kurva respons spektral diperoleh melalui bantuan Perangkat Lunak online di <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>. Percepatan spektral gempa  $MCE_r$  yang dipetakan, periode pendek ( $S_s$ ) dan periode 1 detik ( $S_1$ ) masing-masing 0,953 dan 0,397 detik (Perangkat Lunak online). Faktor amplifikasi getar, koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  masing-masing sebesar 1,1 dan 1,9 (Tabel 6 dan 7 SNI 03-1726-2019). Percepatan respons spektral periode pendek  $S_{ms} = F_a$ .  $S_s = 1,049$  detik dan periode 1 detik  $S_{m1} = F_v$ .  $S_1 = 0,754$  detik. Desain percepatan respons spektral periode pendek  $S_{ds}$  dan periode 1 detik  $S_{d1}$  masing-masing adalah 0,699 dan 0,503 detik. Periode getar keseluruhan struktur  $T_0$  dan  $T_s$  masing-masing adalah 0,114 dan 0,719 detik. Sistem struktur pemikul beban gempa arah X dan Y

memiliki parameter sebagai berikut: sistem struktur adalah sistem rangka gedung dengan faktor modifikasi respons ( $R$ ), *overstrength* sistem ( $\Omega$ ), dan pembesaran lendutan ( $C\Omega D$ ) masing-masing sebesar 6,5, 3, dan 4.

Untuk struktur enam dan Paon, periode getar pengantar,  $T_a = C_t (h_n)^x$ , koefisien batas periode,  $S_{D1} \geq 0.4$ ,  $C_u = 1.4$  (Tabel 17 SNI 03-1726-2019), tinggi struktur gedung *Sakanem* dan *Paon* masing-masing 2.7 m dan 2 m, jumlah tingkat struktur gedung *Sakanem* 1. Periode getar arah x dan y, parameter periode pendekatan ( $C_t$ ) = 0.049 dan  $x = 0.75$  (Tabel 18 SNI 03-1726-2019), periode pendekatan fundamental ( $T_a$ ) struktur *Sakanem* dan *Paon* 0,1 detik dan 0,08 detik, periode fundamental maksimum ( $T_{maks}$ ) struktur *Sakanem* dan *Paon* 0,14 detik dan 0,11 detik, periode yang digunakan  $T$  struktur *Sakanem* dan *Paon* = 0,1 detik dan 0,08 detik. Dari uraian di atas, prosedur analisis beban gempa dapat ditentukan dengan pengecekan  $T < 3.5 TS$ ,  $3.5 TS = 2.517$  detik, sehingga  $T < 3.5TS$  (SNI 03-1726-2019). Dengan demikian, prosedur analisis beban gempa statik ekuivalen, respons spektrum, dan analisis riwayat waktu diperbolehkan dengan faktor skala ( $I.G/R$ ) = 1,5 (dalam satuan ton-m).



**Gambar 4.** Spektrum Respons Desain Struktur Bangunan

Kombinasi beban yang dihitung, antara lain.

$$U1 = 1.4D,$$

$$U2 = 1.2D+1.6L,$$

$$U3 = 1.2D+L+W,$$

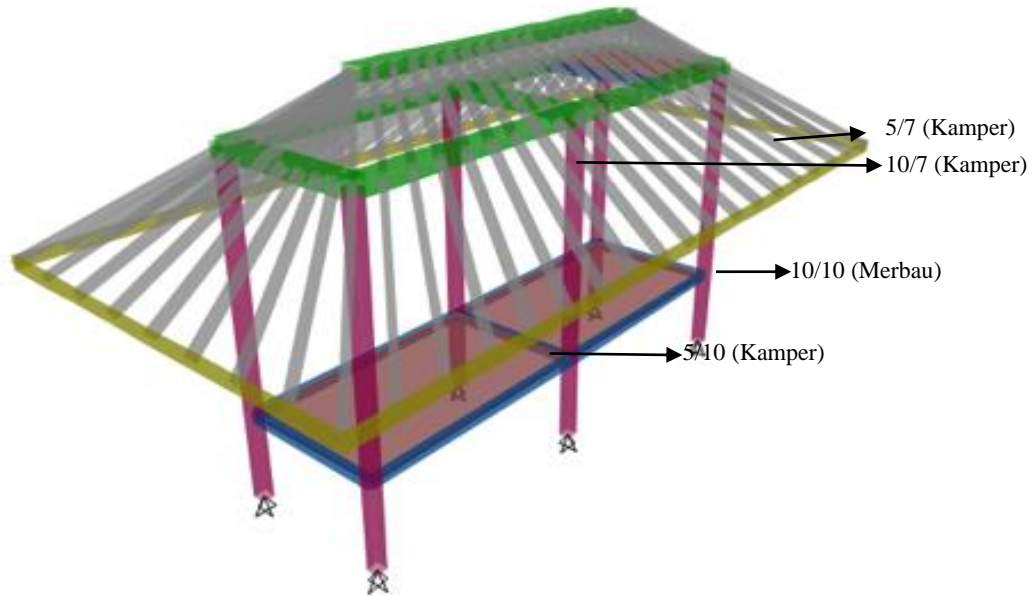
$$U4 = 1.2D+L+Ex+0.3Ey,$$

$$U5 = 1.2D+L-Ex-0.3Ey,$$

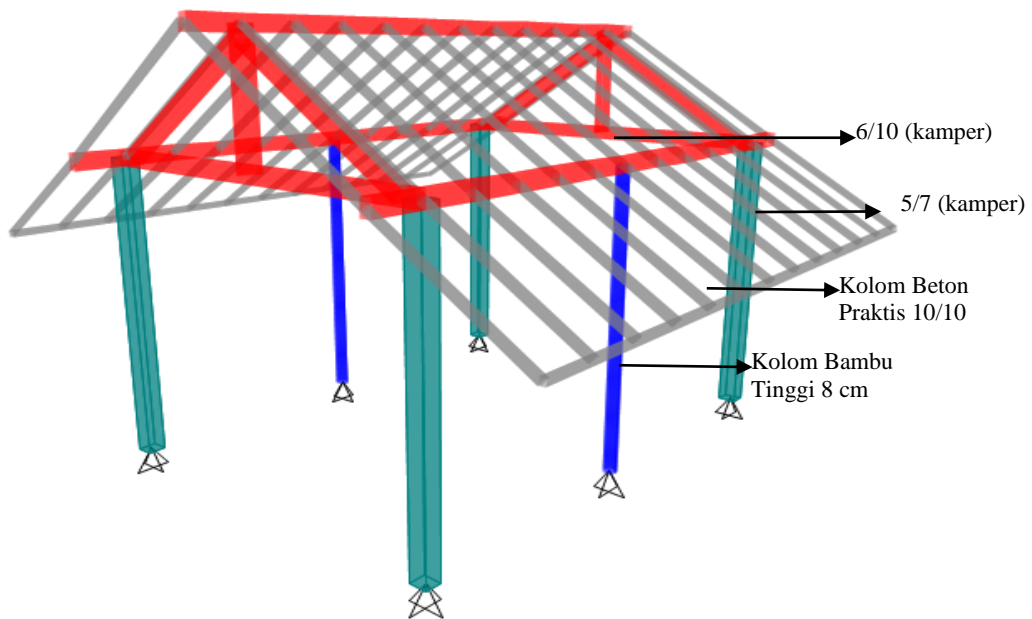
$$U6 = 1.2D+L+0.3Ex+Ey, U7 = 1.2D+L-0.3Ex-Ey$$

### 3.4. Model Struktur Bangunan Tradisional Bali

Model struktur yang akan dianalisa adalah model struktur *Sakanem* dan *Paon*. Kedua model tersebut akan dianalisa dengan bantuan Software SAP2000 untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang menjadi faktor utama dalam kontrol kapasitas penampang dengan menggunakan analisa manual sesuai dengan SNI yang berlaku. Balok dan kolom dimodelkan sebagai elemen rangka, dan perletakan pondasi dimodelkan sebagai sambungan. Model Struktur Rangka 3D *Sakanem* atau enam tiang disajikan pada **Gambar 2**, dan *Paon* pada **Gambar 3**.



Gambar 5. Model Struktur Rangka 3D (*Sakanem*)



Gambar 6. Model Struktur Rangka 3D (*Paon*)

### 3.5. Perhitungan Struktur Bangunan

Dalam analisis ini, dilakukan penilaian terkait kekakuan dan kekuatan struktur (kontrol kapasitas penampang) untuk bangunan *Sakanem* dan *Paon* (Dapur) yang diuraikan sebagai berikut.

#### a. Kekakuan struktur

Kekakuan struktur yang ditinjau adalah lendutan komponen struktur akibat beban gravitasi terfaktor maksimum yang disajikan dalam **Tabel 1**. Simpangan lateral akibat beban gempa disajikan pada **Tabel 2** sampai **Tabel 5**.

**Tabel 1.** Lendutan Balok dan Kuda-kuda Akibat Beban Terfaktor

Struktur	Lendutan ( $\delta$ ) (mm)		Lendutan Ijin ( $\delta_{ijin}$ ) (mm)		Kontrol $\delta \leq \delta_{ijin}$
	Balok	Kuda-kuda	Balok (L/240)	Kuda-kuda (L/300)	
<i>Sakanem</i>	1.18	1.10	8.75	4.07	OK
<i>Paon</i>	0.8	0.1	6.25	7.33	OK

Karena beban gravitasi, balok dan rangka kuda-kuda melengkung lebih kecil dari yang diijinkan. Hal ini berarti komponen struktur bangunan *Sakanem* dan *Paon* memiliki kekakuan vertikal yang cukup untuk menahan beban batas layan. Selanjutnya, simpangan lateral akibat beban gempa arah x dan y menghasilkan simpangan batas ultimit dan batas layan yang lebih kecil dari simpangan lateral. Hal ini berarti struktur bangunan *Sakanem* dan *Paon* memiliki kekakuan lateral yang cukup untuk menahan beban gempa arah x dan y.

**Tabel 2.** Simpangan Batas Layan Akibat Gempa Arah x dan Arah y (Struktur *Sakanem*)

Story	Tinggi (h)	Simpangan Arah x	Simpangan Arah y	Simpangan	Simpangan	Syarat Batas Layan	Kontrol Arah x	Kontrol Arah y
				Antar Tingkat Arah x	Antar Tingkat Arah y			
		Mm	Mm	Mm	Mm	Mm		
<i>Story 2</i>	2000	5.40	9.30	3.10	5.60	7.50	OK	OK
<i>Story 1</i>	700	2.30	3.70	2.30	3.70	2.63	OK	OK
<i>Base</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK	OK

**Tabel 3.** Simpangan Batas Ultimit Akibat Gempa Arah x dan Arah y (Struktur *Sakanem*)

Cerita	Tinggi (h)	Simpangan arah x	Simpangan Arah y	Simpangan	Simpangan	Syarat Batas Ultimit	Kontrol Arah x	Kontrol Arah y
				Kali Faktor Pengali Arah x	Kali Faktor Pengali Arah y			
		Mm	Mm	Mm	Mm	Mm		
<i>Story 2</i>	2000	6.10	10.10	34.16	56.56	40.00	OK	OK
<i>Story 1</i>	700	2.30	5.10	12.88	28.56	14.00	OK	OK
<i>Base</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK	OK

**Tabel 4.** Simpangan Batas Layan Akibat Gempa Arah x dan Arah y (Struktur *Paon*)

Cerita	Tinggi (h)	Simpangan Arah x	Simpangan Arah y	Simpangan	Simpangan	Syarat Batas Layan	Kontrol Arah x	Kontrol Arah y
				Antar Tingkat Arah x	Antar Tingkat Arah y			
		Mm	Mm	Mm	Mm	Mm		
<i>Story 1</i>	2000	5.40	7.20	5.40	7.20	7.50	OK	OK
<i>Base</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK	OK

**Tabel 5.** Simpangan Batas Ultimit Akibat Gempa Arah x dan Arah y (Struktur *Paon*)

Cerita	Tinggi (h)	Simpangan Arah x	Simpangan Arah Y	Simpangan	Simpangan	Syarat Batas Ultimit	Kontrol Arah x	Kontrol Arah y
				Kali Faktor Pengali Arah x	Kali Faktor Pengali Arah y			
		Mm	Mm	Mm	Mm	Mm		
<i>Story 1</i>	2000	5.40	7.20	35.10	46.80	40.00	OK	OK
<i>Base</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK	OK

#### b. Kekuatan struktur (kapasitas penampang komponen struktur)

Berdasarkan hasil analisis struktur berupa gaya-gaya dalam komponen struktur terfaktor maksimum dari masing-masing model yang disajikan pada **Tabel 6**. Hasil kontrol kapasitas penampang balok dan kolom pada struktur *Sakanem* dan *Paon* dengan menggunakan Metode Desain Faktor Beban Bertahan (DFBK). Kontrol kapasitas penampang balok dan kolom berdasarkan gaya-gaya dalam terfaktor maksimum. Sifat dan faktor untuk kayu dengan kode mutu E11 adalah sebagai berikut. Nilai modulus elastisitas dengan kode mutu E11 ( $F_b = 9,1$  MPa,  $F_t = 8,0$  MPa,  $F_{c\perp} = 8,0$  MPa,  $F_v = 1,06$  MPa,  $F_c = 2,13$  MPa,  $E = 11000$  MPa dan  $E_{min} = 5500$  MPa, rasio *Poisson* = 0,3) (SNI 7973-2013). Nilai faktor koreksi untuk lentur, geser, dan tekan adalah faktor pelayanan basah ( $C_M$ ) = 1, faktor tusuk lentur, geser dan tekan aksial ( $C_i$ ) = 0,8, faktor temperatur kondisi basah/kering ( $C_t$ ) = 1, faktor kayu gergajian ( $C_F$ ) = 1, faktor konversi lentur ( $K_F$ ) = 2,54, faktor konversi geser ( $K_F$ ) = 2 88, faktor konversi tekan ( $K_F$ ) = 2,4, faktor pengaruh waktu ( $\lambda$ ) = 1, faktor tahanan

lentur ( $b$ ) = 0,85, faktor tahanan geser ( $v$ ) = 0,75, faktor tahanan tekan ( $\phi_c$ ) = 0,9, nilai desain tekuk ( $F \phi_b$ ) = 9,1 MPa dan nilai desain geser ( $F_v$ ) = 0,65, faktor pengaruh perletakan ( $f\phi_{cu}$ ) = 1.

**Tabel 6.** Gaya dalam anjak piutang maksimum

Jenis	Komponen Struktural	Momen (Mu) (kNm)	Kekuatan Geser (Vu) (kN)	Kekuatan Aksial (Nu) (kN)
Model 1 ( <i>Sakanem</i> )	Kolom 100x100 mm	0.18	0.12	7.80
	Balok 50x100 mm	0.06	0.25	-
	Balok 100x50 mm	0.68	2.65	-
	Balok 50x70 mm	0.32	0.51	-
Model 2 ( <i>Paon</i> )	Kolom Beton 100x100 mm (Praktis)	0.12	0.05	3.20
	Tinggi Kolom Bambu Adalah. 80 mm	0.10	0.05	29
	Balok Utama 60x100 mm	0.05	0.10	-
	Balok Usuk 50x70 mm	0.046	0.15	0.38

**c. Kapasitas Lentur dan Geser Balok Kayu**

Langkah-langkah perhitungan kapasitas lentur dan geser penampang balok menurut SNI 7973:2013 meliputi. [27]

1. Hitung nilai desain pembengkokan referensi  

$$F_b^* = \lambda \times \phi_b \times C_M \times C_i \times C_t \times C_F \times C_T \times K_F \times F_b \dots\dots\dots (1)$$
2. Menghitung modulus penampang melintang  $S_x$
3. Menghitung panjang efektif ekuivalen (SNI: 7973:2013)
4. Hitung rasio kelangsingan balok  

$$R_b = \sqrt{\frac{I_e \times d}{b^2}} \dots\dots\dots (2)$$
5. Hitung Modulus elastisitas yang telah dikoreksi  

$$E'_{min} = \phi_s \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times E_{min} \dots\dots\dots (3)$$
6. Hitung nilai desain tekukan kritis  

$$F_{bE} = \frac{1.2 \times E'_{min}}{R_B^2} \text{ and } (4) \alpha_b = \frac{F_{bE}}{F_b^*}$$
7. Hitung faktor stabilitas:  

$$C_L = \frac{1 + \alpha_b}{1.9} - \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha_b}{1.9} \right]^2 - \frac{\alpha_b}{0.95}} \dots\dots\dots (5)$$
8. Hitung kekuatan lentur yang dikoreksi  

$$M' = C_L \times C_{fu} \times F_b^* \times S_x \dots\dots\dots (6)$$
9. Kontrol kapasitas pembengkokan  $M_u < M'$  (OK)
10. Hitung kekuatan geser terkoreksi balok  

$$F_v' = \lambda \times \phi_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times F_v \dots\dots\dots (7)$$
11. Hitung kapasitas geser balok  $V$
12. Balok kontrol kapasitas geser  $V_u < V'$  (OK)

Perhitungan kontrol kapasitas lentur dan geser balok selanjutnya disajikan pada **Tabel 7**. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas lentur dan geser nominal ( $M'$ ) dan ( $V'$ ) balok pada bangunan *Sakanem* dan *Paon* lebih besar daripada kapasitas lentur dan geser ultimit ( $M_u$ ). Dengan demikian, elemen kolom dan balok kayu pada bangunan *Sakanem* dan *Paon* memiliki kekuatan lentur dan geser yang baik dalam menahan beban batas yang bekerja pada struktur.

**Tabel 7.** Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser Balok

Model	Dimensi	Mu	Vu	Fb*	Sx	l <sub>e</sub>	R <sub>b</sub>	E' min	F <sub>bE</sub>	a <sub>b</sub>	CL	M'	Mu≤M'	F'v	Vu<F'v
	Balok	kNm	kN	Mpa	mm <sup>3</sup>	mm			MPa			kNm		kN	
Saka 6	B5x10	0.060	0.200	15.75	8.3333.3	3723	12.20	7405.2	59.67	3.8	0.983	1.2873	OK	6.11	OK
	B10x5	0.640	2.600	15.75	41666.7	3864	4.40	7405.2	459.95	29.3	0.998	0.6537	OK	6.11	OK
	B5x7	0.320	0.500	15.75	40833.3	2655	8.62	7405.2	119.54	7.6	0.993	0.6370	OK	4.27	OK
Paon	B6x10	0.060	0.200	15.75	100000	3866	10.39	7405.2	82.32	5.2	0.989	1.5537	OK	7.33	OK
	B5x7	0.320	0.500	15.75	40833.3	2655	8.62	7405.2	119.54	7.6	0.993	0.6370	OK	4.27	OK

**d. Kontrol kapasitas kombinasi kolom kayu tekan lentur dan aksial**

Langkah-langkah untuk menghitung kapasitas gabungan penampang lentur dan tekan aksial kolom kayu menurut SNI 7973:2013 tentang spesifikasi desain untuk konstruksi kayu adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan kapasitas lentur dan aksial anak tangga sama dengan perhitungan elemen balok.
2. Hitung kapasitas tekanan
3. Lengkapi celah interaksi untuk kombinasi tekukan dan tekan aksial:

$$\left(\frac{Pu}{\lambda\phi_c P'}\right)^2 + \frac{M_{mx}}{\lambda\phi_b M'_x} + \frac{M_{my}}{\lambda\phi_b M'_y} \leq 1,0 \dots\dots\dots(8)$$

Menghitung kapasitas gabungan kolom tekan lentur dan aksial selanjutnya ditabelkan. Berdasarkan tabel 8, kontrol kapasitas gabungan kolom lentur dan aksial pada bangunan *Sakanem* dan *Paon* lebih kecil dari kapasitas lentur dan aksial ultimit. Dengan demikian, elemen kolom kayu pada bangunan *Sakanem* dan *Paon* memiliki kekuatan lentur dan aksial yang baik untuk menahan beban batas yang bekerja pada struktur.

**Tabel 8.** Kontrol Kapasitas Kombinasi Kolom Lentur dan Aksial

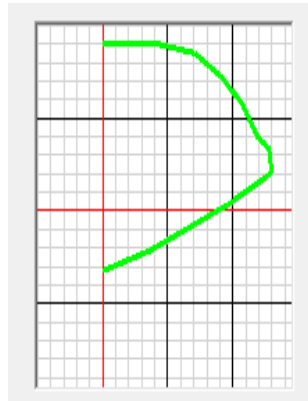
Model	Dimensi	Pu	Mu	Vu	M'	Mu≤M'	F'v	Vu<F'	P'	Pu<=P'	$\left(\frac{Pu}{\lambda\phi_c P'}\right)^2 + \frac{M_{mx}}{\lambda\phi_b M'_x} + \frac{M_{my}}{\lambda\phi_b M'_y} \leq 1,0$	Kontrol
	Kolom	kN	kNm	kN	kNm		kN		kN			
Saka 6	K10x10	9,2	0.230	0.170	2.6104	OK	12.21	OK	85.1713	OK	0.13	OK
Paon	K dia80	29	0.100	0.050	1.3351	OK	7.82	OK	52.7342	OK	0.74	OK

**e. Kontrol Kapasitas Kolom Beton Praktis (100x100 mm)**

Kontrol kapasitas penampang kolom beton praktis dengan ukuran 100x100 mm menggunakan diagram interaksi yang disajikan pada **Gambar 4**. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolom beton praktis pada struktur *Paon* menghasilkan momen lentur terfaktor M<sub>u</sub> = 0,12 kNm dan gaya aksial terfaktor N<sub>u</sub> = 3,2 kN. Nilai M<sub>u</sub> dan *p-value* dari **Gambar 4** tidak melewati garis batas interaksi, sehingga kolom praktis ini mampu menahan beban batas pada bangunan *Paon*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bangunan *Sakanem* dan bangunan *Paon* memiliki kekakuan dan parameter kekuatan struktur yang cukup untuk menahan beban batas yang bekerja pada struktur.

**Tabel 9.** Interaksi Kolom Praktis 100x100 mm

P	M3	M2
-80.1985	0	0.
-80.1985	0.5302	0.
-75.9664	0.8666	0.
-64.0607	1.1298	0.
-50.9553	1.3205	0.
-35.957	1.4577	0.
-29.9207	1.5676	0.
-18.4971	1.5952	0.
-3.2407	1.1867	0.
18.8869	0.4514	0.
28.8	0.	0.



**Gambar 7.** Diagram Interaksi Kolom Praktis 100x100 mm.

#### 4. KESIMPULAN

Struktur dan desain tradisional Bali untuk *sakaenem* dan *Paon* (dapur) yang ditemukan di Banjar Cekeng, Susut Bangli, masih memenuhi Standar Nasional Indonesia berdasarkan analisis struktur. Temuan ini menunjukkan kekuatan struktur untuk balok, dan kuda-kuda bale *Sakanem* dan *Paon* memiliki kekakuan vertikal yang cukup dalam menahan beban batas yang bekerja. Selanjutnya simpangan lateral struktur bangunan bale *Sakanem* dan *Paon* memiliki kekakuan lateral yang cukup untuk menahan beban gempa arah x dan y. Analisis gaya terfaktor maksimum diperoleh hasil struktur model 1 (*sakanem*) yang terdiri dari komponen struktur kolom dan balok material kayu, sedangkan model 2 (*Paon*) dengan komponen struktur kolom beton, bambu, dan balok kayu. Kapasitas lentur dan geser nominal balok *Sakanem* dan *Paon* lebih besar dari kapasitas lentur dan geser ultimit. Kontrol kapasitas gabungan lentur dan aksial kolom pada bangunan *Sakanem* dan *Paon* lebih kecil dari kapasitas lentur dan aksial kolom ultimit dan praktis pada bangunan *Paon*, tidak melewati garis batas interaksi. Kedepannya diperlukan analisis struktur yang komprehensif untuk mempertahankan bangunan tradisional di Banjar Cekeng, terutama kekuatan dan fleksibilitas bangunan yang aman dan memenuhi SNI.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryono, A. (2021). Preservation of the manifestation of balinese cultural traditions in the current architecture of public buildings: A case study of the Mandala Agung building of the Puri Ahimsa resort in Mambal village–Bali. *Journal of Architectural Conservation*, 27(1–2), 53–65.
- [2] Sutarja, I. N., & Putra, I. D. G. A. D. (2022). *Ergonomics in the Contemporary Balinese Building: the Integration between Architectural and Structural Aspects*.
- [3] Arini, I. A. D., & Paramita, I. B. G. (2021). Seni Arsitektur Bali Dalam Bangunan-Bangunan Bali (Kajian Filosofis). *Maha Widya Duta: Jurnal Penerangan Agama, Pariwisata Budaya, Dan Ilmu Komunikasi*, 5(1), 76–87.
- [4] 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.
- [5] Winarni, S. (2021). Comparative Understanding of Traditional Architecture based on Literature Review: Refining the Definition of Traditional Architecture. *International Journal of Architecture and Urbanism*, 5(3), 252–262.
- [6] Arini, I. A. D., & Paramita, I. B. G. (2021). Seni Arsitektur Bali Dalam Bangunan-Bangunan Bali (Kajian Filosofis). *Maha Widya Duta: Jurnal Penerangan Agama, Pariwisata Budaya, Dan Ilmu Komunikasi*, 5(1), 76–87.
- [7] Rajendra, I. (2012). How a balinese traditional home creates a comfortable internal environment without resorting to energy usage. *Jurnal Kajian Bali*, 2(1), 41–56.
- [8] Suryono, A. (2021). Preservation of the manifestation of balinese cultural traditions in the current architecture of public buildings: A case study of the Mandala Agung building of the Puri Ahimsa resort in Mambal village–Bali. *Journal of Architectural Conservation*, 27(1–2), 53–65.
- [9] Sitingjak, R. H. I., Wardani, L. K., & Nilasari, P. F. (2020). Traditional Balinese Architecture: From Cosmic to Modern. *SHS Web of Conferences*, 76, 1047.
- [10] Suhari, K. T., Abidin, H. Z., Saptari, A. Y., Gunawan, P. H., Leksono, B. E., & Abdulharis, R. (2022). The Information Technology for Customary Cadastre in Penglipuran Village Using Dynamic BIM. *Computer Science On-Line Conference*, 24–36.

- [11] Wulandari, A. A. A., & Fajarwati, A. A. S. (2020). Representation of a Human Body: A Comparison Study between Balinese and Javanese Traditional House. *Humaniora*, 11(2), 83–90. <https://doi.org/10.21512/humaniora.v11i2.6408>
- [12] Luxiana, I. W. S., Parwata, I. W., & Kurniawan, A. (2021). Balinese Traditional House Architecture in Era 4.0 in Bukian. *Architectural Research Journal (ARJ)*, 1(2), 52–57. <https://doi.org/10.22225/arj.1.2.2021.52-57>
- [13] Saputra, A. D., Herwindo, R. P., & Kusliansjah, Y. K. (2020). The implementation of traditional Balinese architecture in the theater of Badung Regency. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 5(3), 391–400. <https://doi.org/10.30822/arteks.v5i3.540>
- [14] Subadyo, A. T., & Jati, R. M. B. (2021). *Cultural Landscape of Bali Aga - Tenganan Traditional Village*. 1–10.
- [15] Widiastuti. (2016). *Adaptasi Bentuk dan Pola Bangunan Tradisional terhadap Fungsi Modern di Desa Tradisional Penglipuran*.
- [16] Jatiguna. (2016). *Karakteristik Permukiman Tradisional Penglipuran Bangli*.
- [17] Diasana Putra, I., Lozanovska, M., & Fuller, R. J. (2017). A methodology to evaluate the transformation of traditional Balinese houses as a consequence of tourism. *Archnet-IJAR*, 11(1), 83–100.
- [18] Nurjani, N. P. S., & Dwijendra, N. K. A. (2020). How traditional Balinese houses can adjust and cater for international tourist in the Canggu area, Bali Indonesia. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24(03).
- [19] Pradana, G. Y. K., & Arcana, K. T. P. (2020). Balinese traditional homestay in a sustainable tourism entering millennial era. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*, 12(3), 4208–4217.
- [20] Adnyana, I. M. D. M. (2021). Populasi dan Sampel. In *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif* (1st ed., pp. 103–116). CV Media Sains Indonesia.
- [21] Darwin, M., Mamondol, M. R., Sormin, S. A., Nurhayati, Y., Tambunan, H., Sylvia, D., Adnyana, I. M. D. M., Prasetyo, B., Vianitati, P., & Gebang, A. A. (2021). *Metode penelitian pendekatan kuantitatif* (1st ed.). Media Sains Indonesia.
- [22] SNI. (2013). *SNI 7973-2013 tentang Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu*. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- [23] SNI. (2020). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727: 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur*.
- [24] SNI. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (Issue 8).
- [25] SNI. (2020). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727: 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur*.
- [26] SNI. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (Issue 8).
- [27] SNI. (2013). *SNI 7973-2013 tentang Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu*. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

