

EVALUASI TEKNIS STRUKTUR RUMAH PANGGUNG TOMBASIAN MINAHASA TERHADAP BEBAN GEMPA SESUAI DENGAN STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI) 1726-2019

Amalia N. Tawary¹, Djoni Agustaf², Nicky Rampengan³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Negeri Manado

Email: tawaryamalia@gmail.com, djoniagustaf058@gmail.com, nicky.rampengan@gmail.com

Masuk: 06-06-2025, revisi: 20-06-2025, diterima untuk diterbitkan: 10-07-2025

ABSTRAK

Rumah panggung Tombasian menggunakan kayu cempaka, dan pada saat terjadi gempa rumah panggung Tombasian akan sedikit bergeser tanpa mengalami kerusakan pada bagian-bagiannya Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis bagaimana perilaku struktur rumah panggung tombasian terhadap beban gempa, sehingga apakah dapat dikatakan struktur rumah panggung tombasian memenuhi syarat kekuatan dan kestabilan serta memenuhi syarat sesuai dengan SNI 7973-2013. Penelitian ini menggunakan metode penelitian nilai ultimate analisis struktur dengan menganalisis reaksi struktur terhadap beban yang bekerja serta mengevaluasi kekuatan struktur. Analisis menggunakan perangkat lunak Aplikasi Analisis Struktur dan Microsoft Excel. Analisis beban gempa menggunakan metode repons spektrum dinamik. Material kayu cempaka dengan berat jenis 530 kg/m³ dan modulus elastisitas 8894,63 Mpa. Hasil gaya-gaya dalam ultimate dari aplikasi analisis struktur menunjukkan tekanan ultimate lebih kecil dari tekanan nominal dengan perhitungan menggunakan metode LRFD. Tekuk terjadi pada saat tekanan ultimate bekerja. Momen lentur ultimate dan gaya geser ultimate pun lebih kecil daripada momen lentur nominal dan gaya geser nominal. Serta lendutan pun memenuhi, karena lebih kecil dari lendutan yang diijinkan. Sehingga dapat dikatakan seluruh elemen struktur dinyatakan aman, memenuhi syarat kekuatan dan kestabilan.

Kata kunci: Rumah panggung; evaluasi struktur; struktur kayu; gaya gempa; respon spektrum; LRFD

ABSTRACT

The Tombasian stage house uses cempaka wood, and during an earthquake the Tombasian stage house will shift slightly without damage to its parts. The purpose of this study is to analyze how the behavior of the Tombasian stage house structure against earthquake loads, so that whether it can be said that the Tombasian stage house structure meets the requirements of strength and stability and meets the requirements in accordance with SNI 7973-2013. This research uses the ultimate value research method of structural analysis by analyzing the reaction of the structure to the working load and evaluating the strength of the structure. The analysis uses Structural Analysis Application software and Microsoft Excel. Earthquake load analysis using the dynamic spectrum response method. Cempaka wood material with a specific gravity of 530 kg/m³ and a modulus of elasticity of 8894.63 Mpa. The results of the ultimate internal forces from the structural analysis application show that the ultimate pressure is smaller than the nominal pressure calculated using the LRFD method. Buckling occurs when the ultimate pressure acts. The ultimate bending moment and ultimate shear force are less than the nominal bending moment and nominal shear force. And the deflection also complies, because it is smaller than the allowable deflection. So it can be said that all structural elements are declared safe, meet the requirements of strength and stability.

Keywords: Stage house, structural evaluation, timber structure, earthquake force, spectrum response, LRFD

1. PENDAHULUAN

Sebagai negara maritim, Indonesia menghadapi bahaya gempa bumi yang signifikan karena letaknya yang strategis di persimpangan empat lempeng tektonik yang aktif: Indo-Australia, Eurasia, Pasifik, dan Filipina. Risiko gempa yang tinggi di Nusantara disebabkan oleh aktivitas tektonik yang intens di wilayah tersebut. (Manthani et al., 2019). Melihat seringnya kejadian gempa bumi dan dampak destruktifnya, ditambah kerentanan geografis yang terus ada, para

ilmuwan dan pakar konstruksi berlomba-lomba mengembangkan desain bangunan anti gempa (Kamurahan, 2018). Kayu Merupakan bahan alami dengan banyak kekurangan struktural, kualitasnya harus dipertimbangkan ketika menggunakannya sebagai bahan struktural. Meskipun demikian, material lain tak mampu menyamai sejumlah keunggulan kayu (Rilatupa, 2016). Keunggulan kayu salah satu diantaranya yaitu memiliki kepadatan yang lebih rendah dari pada baja atau beton dan lebih mudah diolah. Secara struktural, kayu mampu menahan gaya tarik, tekan, dan tekukan dengan sangat baik (Walangitan et.al 2024, (Tampubolon, 2023; Tampubolon & Mulyani, 2021). Setiap jenis kayu mempunyai sifat mekanis yang berbeda, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis pohon, umur pohon, dan kondisi pertumbuhan. Interpretasi tentang sifat-sifat ini memungkinkan insinyur dan arsitek untuk menentukan jenis kayu yang sesuai dengan kebutuhan struktural spesifik dalam rancangan konstruksi (Yupa et al., 2024).

Rumah tradisional di Indonesia memiliki keanekaragaman dan kekhasan tersendiri, umumnya berbahan dasar kayu. Rumah adat Minahasa di Sulawesi Utara, yang juga disebut rumah panggung, rumah Pewaris, atau Walewangko, menjadi salah satu contohnya. Bangunan tradisional ini dikenal luas sebagai ciri khas arsitektur Minahasa. Secara umum, rumah Walewangko digolongkan sebagai rumah panggung karena dibangun di atas tiang-tiang penopang yang terbuat dari kayu kuat dan tahan lama (Tiagas, 2024). Rumah Panggung Minahasa berada di kawasan Sulawesi Utara tepatnya di daerah Minahasa yang merupakan daerah yang rawan akan gempa bumi. Gempa bumi besar lainnya mengguncang Minahasa pada tahun 1845, menyebabkan ratusan orang terluka, puluhan orang meninggal, dan ribuan rumah hancur. Karena berada di zona Megathrust, Sulawesi Utara rentan terhadap gempa bumi (Seriatty et al., 2024). Di Sulawesi Utara terdapat beberapa jenis kayu, dan salah satu kayu lokal yang sering digunakan adalah Kayu Cempaka. Kayu dijadikan sebagai cempaka banyak bahan konstruksi terlebih rumah adat Minahasa, karena kayu tersebut terdapat di hutan daerah Sulawesi Utara. Rumah panggung yang menggunakan Kayu Cempaka sebagai material utamanya salah satunya yaitu rumah panggung Tombasian (Kumaat et al., 2017).

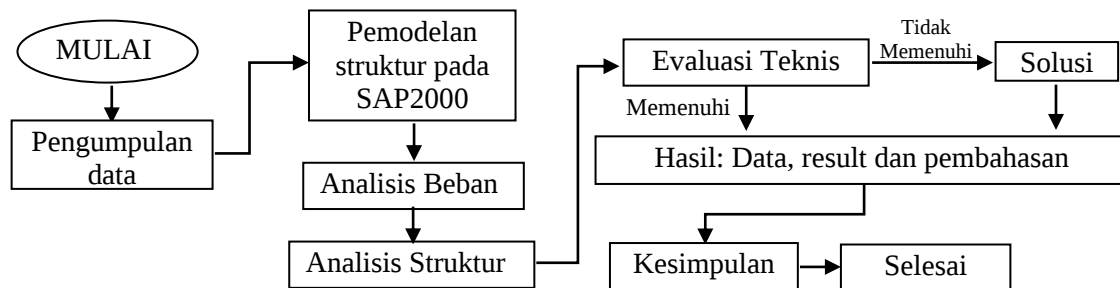
Rumah panggung Tombasian menggunakan kayu cempaka, yang sistem sambungannya direkatkan tanpa menggunakan paku, saat terjadi gempa rumah panggung Tombasian akan sedikit bergeser tanpa mengalami kerusakan pada bagian-bagiannya. Konstruksi rumah panggung ini dirancang dengan metode perakitan prefabrikasi. Dengan metode ini, potensi kerusakan akibat getaran seismik dapat diminimalisir (Tiagas, 2024). Selain karena kayu yang fleksibel terhadap guncangan gempa, dari segi keandalan struktur, sesuai peraturan ketahanan gempa yang berlaku yaitu SNI 1726-2019, mengevaluasi pengaruhnya terhadap ketahanan gempa rumah panggung Tombasian dan rumah panggung Tombasian memenuhi syarat terhadap kekuatan dan kestabilan atau tidak. Penelitian yang mengangkat kajian material kayu sudah banyak dilakukan, tetapi tidak seimbang dengan banyaknya penelitian yang mengangkat kajian tentang kekuatan rumah panggung berstruktur kayu terhadap beban yang bekerja termasuk beban gempa itu sendiri.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis nilai ultimit dengan mengevaluasi respons struktur terhadap beban dan menilai kekuatan struktur (Nurhaliza et al., 2021). Objek penelitian adalah rumah panggung kayu khas Minahasa. Acuan utama yang digunakan adalah SNI 7973:2013 (desain konstruksi kayu), SNI 1726:2019 (perancangan bangunan tahan gempa), dan SNI 1727:2020 (perhitungan beban). Penelitian ini dibantu oleh perangkat lunak untuk mempermudah pemecahan masalah. Aplikasi yang digunakan antara lain:

1. Perangkat lunak pemodelan struktur, digunakan untuk merancang dan menganalisis konstruksi bangunan.
2. Microsoft Excel 2016, digunakan untuk menghitung dan menganalisis data keluaran dari aplikasi analisis struktur.

Gambar 1. menunjukkan diagram alir penelitian yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengambilan data yang digunakan dijelaskan sebagai berikut.

- a. Metode Observasi, data dikumpulkan dengan cara melakukan pengamatan lapangan di lokasi penelitian, yaitu pengumpulan data *Detailed Engineering Desain* (DED);
- b. Metode studi pustaka, mengumpulkan data yang relevan, baik melalui referensi dari buku, artikel, situs web dan sumber lain yang kredibel serta dapat diandalkan dan juga terkait dengan subjek yang digunakan sebagai bahan data;
- c. Metode wawancara, baik secara langsung maupun virtual, informasi dikumpulkan dari sumber data atau partisipan yang relevan.

2.2 Teknik Analisis Data

Berikut merupakan tahapan analisis data sebagai berikut.

- a. Tahap Persiapan, Tujuan tahapan ini ialah menjamin kesesuaian analisis yang direncanakan dengan aturan dan regulasi yang ditetapkan.
 - b. Tahap pengumpulan data, data yang diperoleh yaitu diantaranya:
1. Data Gambaran Rumah

Rumah panggung Minahasa di Tombasian memiliki berbagai macam model rumah panggung dan yang jadi objek bahan penelitian memiliki ukuran 6,3 x 7,83 m serta tinggi L1 = 2,5 m, L2 = 2,85 m dan tinggi tiang raja atap = 1,6. model rumah panggung tersebut bisa di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Rumah Panggung Tombasian
Sumber: Penulis

2. Properti Material Kayu

Material kayu yang digunakan adalah kayu cempaka, baik untuk balok maupun kolom, keduanya memakai jenis kayu cempaka. Nilai massa jenis sesuai dalam PKKI 1961 dan nilai modulus elastisitas sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Usman et al, 2019.)

Tabel 1. Properti Meterial

Nama Material	Kayu Cempaka
Massa Jenis	530 kg/m ³
Modulus Elastisitas	8894,63 Mpa
Poisson Ratio	0,3

Sumber : Sumber: PKKI 1961

3. Ukuran Balok dan Kolom

Tabel 2. Dimensi Kolom dan Balok Rencana

Struktur	Bentuk	Dimensi
Kolom Utama Bawah	Persegi	20 x 20 cm ²
Kolom Bawah	Persegi	15 x 15 cm ²
Kolom Atas	Persegi	10 x 10 cm ²
Sekur	Persegi	10 x 5 cm ²
Balok Utama Melintang	Persegi	10 x 20 cm ²
Balok Utama Memanjang	Persegi	10 x 20 cm ²
Balok Anak Memanjang	Persegi	10 x 15 cm ²
Balok Utama Penggantung Langit-Langit Melintang	Persegi	9 x 12 cm ²
Balok Utama Penggantung Langit-Langit Memanjang	Persegi	9 x 12 cm ²
Balok Penggantung Langit-Langit Memanjang	Persegi	9 x 9 cm ²
Tiang Gantung	Persegi	10 x 8 cm ²
Balok Kaso Atap	Persegi	7 x 5 cm ²
Balok Reng Atap	Persegi	5 x 5 cm ²
Jurai	Persegi	8 x 5 cm ²
Bumbungan	Persegi	10 x 8 cm ²

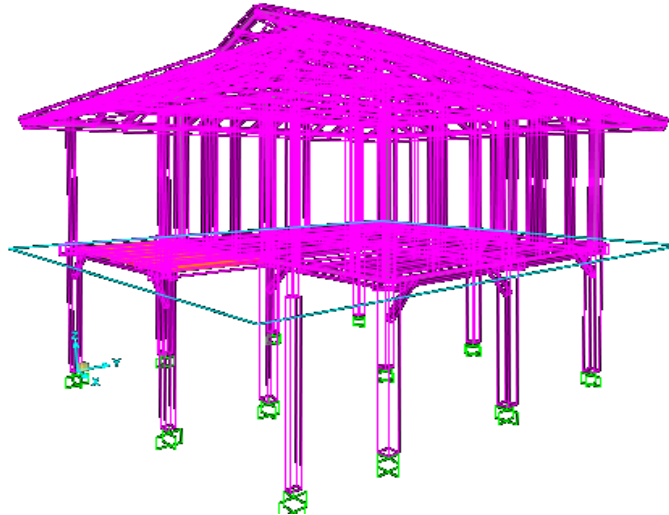
Sumber: Hasil Pengambilan data

4. Jenis Tumpuan dan Sambungan

Dalam analisis struktur jenis sambungan yang diasumsikan yaitu sambungan sendi, sedangkan untuk tumpuannya yaitu tumpuan jepit.

a. Tahap Pemodelan Struktur Pada Aplikasi Analisis Struktur

Struktur dimodelkan dalam aplikasi analisis struktur sesuai dengan data-data yang diperoleh seperti jenis material, dimensi kolom, balok dan plat lantai, pemodelan struktur, serta jenis perletakan dan sambungan.



Gambar 3. Pemodelan Struktur Rumah Panggung Tombasian
Sumber : Hasil Analisis Sap2000

b. Analisis Beban

Beban-beban yang dianalisis diantaranya:

1. Beban Mati, Aplikasi analisis struktur secara otomatis menentukan beban yang dihasilkan oleh komponen bangunan Rincian beban mati tambahan pada rumah panggung Tombasian, diantaranya: Beban mati pada lantai kayu Berat jenis kayu = 530 kg/m³ Berat plafon = 11 Kg/m² (SNI 1727 2020)
2. Beban hidup, Besaran beban hidup ini diatur dalam SNI 1727-2020. Ruang pribadi dan koridornya = 1,932 kN/m².
3. Beban angin, Standar Nasional Indonesia 1727 tahun 2020 mensyaratkan perhitungan beban angin minimal 0,77 kN/m² pada dinding dan 0,38 kN/m² pada atap struktur bangunan gedung tertutup atau sebagian tertutup saat perencanaan SPBAU. Beban angin diaplikasikan pada SAP-2000 sesuai dengan tahapan berikut:
4. Memasukkan data beban angin pada load patterns. Data yang dimasukkan sesuai dengan data yang telah dianalisis.

Gambar 4. Load Patterns Beban Angin

5. Membuat permukaan yang tidak memiliki massa ataupun berat jenis, hanya sebagai penyaluran beban angin terhadap struktur.
6. Kemudian input nilai koefisien tekanan eksternal (C_p) pada area dinding dan atap, sesuaikan dengan beban angin arah x atau beban angin arah y.

Gambar 5. Input Beban Angin Datang Pada Atap

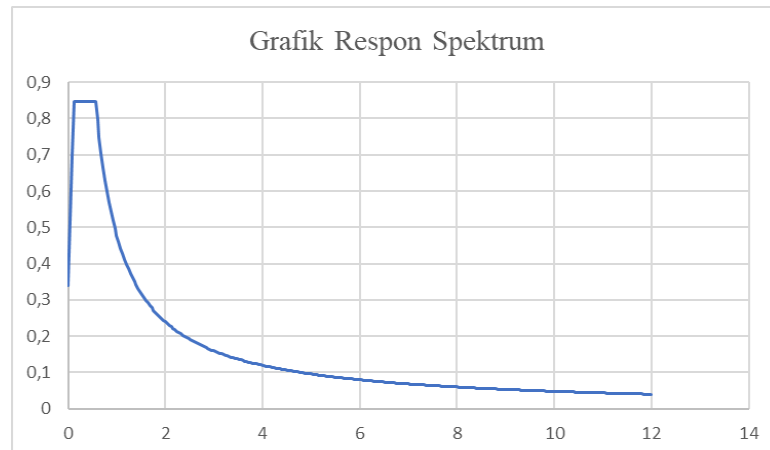
7. Beban gempa, Analisis spektrum respons dinamik digunakan untuk analisis beban gempa. Daerah respon spektrum yang diambil yaitu daerah Minahasa.

Tabel 3. Output puskim SNI 1726-201

Parameter	1726-2019
Kategori Resiko	II
Faktor Keutamaan	1,0
Ss	1,0580 g
S1	0,4780 g
Koefisien Situs Fa	1,200 g
Koefisien Situs Fv	1,500 g
$S_{MS} (Ss \times Fa)$	1,269 g
$S_{M1} (S1 \times Fv)$	0,717 g
$S_{DS} (2/3 S_{MS})$	0,846 g
$S_{D1} (2/3 S_{M1})$	0,478 g

Tabel 4. Koefisien factor R, Cd , dan Ω

Parameter	SNI 1726:2019	
KDS (Kategori Desain Seismik)	D	Table 8 dan 9
R (Faktor reduksi gempa)	7	Table 12
Faktor kuat lebih, Ω	1,5	Table 12
Factor pembesaran defleksi, Cd	1,5	Table 12



Gambar 6. Grafik Respon Spektrum Daerah Minahasa

8. Kombinasi pembebanan, Penggunaan beban gabungan pada pemodelan struktur merujuk kepada SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2, dengan $\rho = 1,3$, sesuai dengan KDS, adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi	Jenis Kombinasi beban	SNI-1726-2019 (Sds = 0,764)
1-1	Kombinasi Pembebanan Gempa Awal	1,35 DL + 1,35 SDL + 1,3 Ex + 0,39 Ey + 1,0 LL
1-2		1,35 DL + 1,35 SDL + 1,3 Ex - 0,39 Ey + 1,0 LL
1-3		1,35 DL + 1,35 SDL - 1,3 Ex + 0,39 Ey + 1,0 LL
1-4		1,35 DL + 1,35 SDL - 1,3 Ex - 0,39 Ey + 1,0 LL
1-5		1,35 DL + 1,35 SDL + 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 LL
1-6		1,35 DL + 1,35 SDL + 0,39 Ex - 1,3 Ey + 1,0 LL
1-7		1,35 DL + 1,35 SDL - 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 LL
1-8		1,35 DL + 1,35 SDL - 0,39 Ex - 1,3 Ey + 1,0 LL
2-1	Kombinasi Pembebanan Gempa Akibat Efek Gempa Vertikal	0,75 DL + 0,75 SDL + 1,3 Ex + 0,39 Ey + 1,0 LL
2-2		0,75 DL + 0,75 SDL + 1,3 Ex - 0,39 Ey + 1,0 LL
2-3		0,75 DL + 0,75 SDL - 1,3 Ex + 0,39 Ey + 1,0 LL
2-4		0,75 DL + 0,75 SDL - 1,3 Ex - 0,39 Ey + 1,0 LL
2-5		0,75 DL + 0,75 SDL + 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 LL
2-6		0,75 DL + 0,75 SDL + 0,39 Ex - 1,3 Ey + 1,0 LL
2-7		0,75 DL + 0,75 SDL - 0,39 Ex + 1,3 Ey + 1,0 LL
2-8		0,75 DL + 0,75 SDL - 0,39 Ex - 1,3 Ey + 1,0 LL

9. Mengaplikasikan pembebanan dan kombinasi beban, beban yang telah dianalisis dan kombinasi beban diinput pada aplikasi analisis struktur
10. Mendefinisikan massa struktur pada aplikasi analisis struktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengecekan Jumlah Ragam

Tabel 6. Jumlah Partisipasi Massa Ratios Sesuai SNI 1726-2019

OutputCase	StepType	StepNum	Periode	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Teks	Teks	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Modal	Mode	1	513766,705	0,001	0,492	0,000	0,001	0,492
Modal	Mode	2	316344,236	0,492	0,001	0,000	0,493	0,493
Modal	Mode	3	5707,755	0,000	0,000	0,000	0,493	0,493
Modal	Mode	4	5707,465	0,000	0,000	0,000	0,493	0,493
Modal	Mode	5	2,417	0,000	0,000	0,000	0,493	0,493
Modal	Mode	6	0,310	0,001	0,001	0,010	0,494	0,494
Modal	Mode	7	0,278	0,006	0,052	0,004	0,500	0,546
Modal	Mode	8	0,263	0,439	0,011	0,001	0,940	0,557
Modal	Mode	9	0,254	0,031	0,383	0,000	0,971	0,940
Modal	Mode	10	0,211	0,007	0,043	0,000	0,978	0,983
Modal	Mode	11	0,124	0,007	0,001	0,182	0,985	0,985
Modal	Mode	12	0,078	0,012	0,000	0,006	0,997	0,985
Syarat Partisipasi Massa > 90%							OK	OK

Berdasarkan output pada tabel tersebut, jumlah partisipasi massa pada mode ke-9 untuk kedua arah telah melampaui 90%, sehingga memenuhi persyaratan minimal sebesar 90%.

3.2 Pemeriksaan periode desain

Tabel 7. Hasil Time Period Pada Aplikasi Analisis Struktur

<i>OutputCase</i>	<i>StepType</i>	<i>StepNum</i>	Periode	Frekuensi	<i>CircFreq</i>	<i>Eigenvalue</i>
Teks	Teks	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	Mode	1	513766,71	1,946E-06	1,223E-05	1,496E-10
Modal	Mode	2	316344,24	3,161E-06	1,986E-05	3,945E-10
Modal	Mode	3	5707,7547	0,0001752	0,0011008	1,212E-06
Modal	Mode	4	5707,4655	0,0001752	0,0011009	1,212E-06
Modal	Mode	5	2,417281	0,4136879	2,5992776	6,756244
Modal	Mode	6	0,309927	3,2265663	20,273114	410,99914
Modal	Mode	7	0,278392	3,5920549	22,569547	509,38444
Modal	Mode	8	0,262702	3,8065884	23,917501	572,04683
Modal	Mode	9	0,25395	3,9377897	24,741862	612,15975
Modal	Mode	10	0,211371	4,7310071	29,725794	883,62285
Modal	Mode	11	0,12443	8,0366676	50,495872	2549,833
Modal	Mode	12	0,07786	12,843556	80,698442	6512,2385

Dari persyaratan $T_a \min < T \text{ SAP} < T_a \text{ maks}$ (1)

$$T_a \min = C_t \cdot h_n^x = 0,0488 \cdot 6,95^{0,75} = 0,21$$

$$T_a \text{ maks} = C_u \cdot T_a \min = 1,4 \cdot 0,21 = 0,29$$

$T_a \text{ SAP}$ dapat dilihat pada saat *run* pada *found mode 1*

Tabel 8. Hasil Periode Alami Fundamental

Parameter	$T_a \text{ Min}$ (detik)	<	$T_a \text{ dari SAP (Tc)}$ (detik)	<	$T_a \text{ max}$ (detik)
SNI-1726-2019	0,21	<	513766,71	<	0,29

Karena T_c ($T_a \text{ SAP}$) lebih besar dari $T \text{ max}$ maka T_a yang digunakan adalah $T_a \text{ max}$.

a. Kontrol gaya geser dasar nominal (V)

Perhitungan koefisien respon seismic (C_s) sesuai SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1, sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,846}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,120 \text{ (yang dipakai)}$$

$$C_{s \text{ max}} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,478}{0,29 \left(\frac{7}{1}\right)} = 0,235$$

Karena $S_1 = 0,478g < 0,6g$, maka nilai $C_{s \text{ min}}$ yang digunakan yaitu:

$$\begin{aligned} C_{s \text{ min}} &= 0,044 S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 (0,846) \times 1 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Tabel 9. Output Berat Total Struktur Tanpa Gravitasi

OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Teks	Teks	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Berat Gedung	Combination	8,377E-12	1,118E-12	253,981	1017,6777	-774,75	1,354E-11

Dari hasil nilai koefisien respon seismic (C_s) dan nilai total berat Gedung (W) yang telah diperhitungkan, maka didapatkan gaya geser dasar nominal (V) sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (2)$$

$$= 0,120 \cdot 253,981 \text{ kN} = 30,477 \text{ kN}$$

- b. Kontrol Nilai V terhadap gaya gempa arah X dan Y

Skala gaya geser dinamik akibat gempa harus lebih kecil atau sama dengan reaksi gaya geser pada arah x dan y, sehingga berlaku $V \leq \text{Gaya X dan Y}$. Jika skalanya belum terpenuhi, maka nilai factor skala gaya dikoreksi dengan cara klik *Unlock Model* → *Define* → *Load Cases*. Pada *Load Case Name* pilih *EQDX/EQDY* kemudian klik *Modify/Show Load Cases*.

Tabel 10. Output Base Reaction Awal

OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Teks	Teks	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Comb 1-1	Max	8,528	3,597	190,458	781,0979	-551,9737	39,1518
Comb 1-1	Min	-8,528	-3,597	188,975	762,0309	-591,7576	-39,1518
Comb 1-2	Max	8,528	3,597	190,458	781,0979	-551,9737	39,1518
Comb 1-2	Min	-8,528	-3,597	188,975	762,0309	-591,7576	-39,1518

Tabel 11. Kontrol Nilai V terhadap F_x dan F_y

OutputCase	CaseType	StepType	Global FX	Global FY	$V = C_s \cdot W$
Teks	Teks	Teks	KN	KN	KN
COMB 1-1	Combination	Max	30,552	30,813	30,477
COMB 1-2	Combination	Min	-30,552	-30,813	
Kontrol Nilai V terhadap F_x dan F_y				OK	

3.3 Evaluasi Kekuatan Struktur

Analisis daya dukung komponen struktural rumah panggung Tombasian, meliputi balok dan kolom, mengacu pada standar SNI 7973-2013. Pemeriksaan kemampuan struktur berpusat pada bagian-bagian penyangga beban utama, yakni balok serta kolom

Tabel 12. Nilai desain dan modulus elastisitas lentur acuan kode mutu E9

Kode Mutu	Nilai Desain Acuan (MPa)					Modulus Acuan (MPa)	Elastisitas
	Fb	Ft	Fc	Fv	Fc±	E	Emin
E9	7,1	6,3	6,3	0,83	1,67	9000	4500

Tabel 13. Faktor Koreksi Nilai Desain Acuan Yang Dipakai Dalam Perhitungan

Faktor Koreksi	DFBK/ LRFD				Keterangan (SNI 7973:2013)
	Fb	Ft	Fv	Fc	
C _M	1,00	-	1,00	1,00	Kadar air ≤ 19° (Tabel 4.2.2)
C _i	1,00	-	1,00	1,00	T < 38° (Tabel 2.3.3)
C _L	1,00	-	-	-	Tidak ada tusukan (Pasal 2.3.3)
C _P	(Hanya untuk Fc)				Disesuaikan dengan balok sesuai yang terdapat pada pasal 3.3.3
	$C_p = \frac{1 + (F_{de} / F'_c)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{de} / F'_c)}{2c} \right]^2 - \frac{F_{de} / F'_c}{c}}$				
K _F	2,54	-	2,88	2,40	Tabel 4.3.1 (Nilai desain acuan harus dikalikan dengan faktor konversi format, sesuai dengan tabel 4.3.1)
φ _T	0,85	-	0,75	0,90	Tabel 4.3.1 (Nilai desain acuan harus dikalikan dengan faktor ketahanan, sesuai dengan tabel 4.3.1)
λ	1,00	-	1,00	1,00	Tabel N3 (Nilai desain acuan harus dikalikan dengan faktor efek waktu, sesuai dengan tabel 4.3.1)
φ _s	-	-	-	0,85	Tabel 2.3.6

Faktor efek waktu yang dipakai berkaitan dengan beban gempa sesuai pada tabel N3, sehingga dapat mengetahui kekuatan kayu terhadap beban yang bekerja terutama beban gempa dan pengaruh waktu terhadapnya. Faktor stabilitas tahanan yang dipakai sesuai dengan tabel 2.3.6, digunakan untuk menghitung faktor stabilitas kolom, sehingga dapat diketahui stabilitas kolom terhadap beban yang bekerja. Kemampuan penampang dalam memikul beban dapat diketahui dari hasil perhitungan berdasarkan SNI 7973-2013. . selain itu hasil gaya-gaya dalam ultimate dari pemograman aplikasi analisis struktur disajikan juga pada tabel tersebut. Hasil perhitungan kontrol gaya-gaya dalam nominal dan gaya-gaya dalam ultimate terdapat pada tabel berikut.

Tabel 14. Kontrol Tahanan Tekan Terfaktor

Elemen	Dimensi (cm)	t	P _{tekuk} (kN)	P _n (kN)	P _u (kN)
Tiang Kolom Pondasi	20/20	2,5	4127,580	199,449	27,4850
Tiang Kolom Pondasi	15/15	2,5	1305,992	111,196	11,8000
Tiang Kolom Pondasi	15/10	2,5	870,661	74,131	5,5400
Kolom Atas	10/10	2,85	198,502	47,220	8,0910
Sekur	10/5	0,75	99,251	23,610	32,5210
Tiang Raja	10/8	1,6	158,802	40,586	3,0230

Kolom mengalami momen lentur, sehingga perhitungan gaya tekan nominal mempertimbangkan juga tahanan tekuk kritis dengan rasio kelangsingan. Gaya tekan ultimit dari analisis adalah 27,485 kN, sedangkan kapasitas tekan kolom 20 × 20 cm² adalah 199,449 kN. Dimensi kolom yang dirancang memenuhi syarat kekuatan tekan.

Tabel 15. Kontrol Momen Lentur dan Gaya Geser Terfaktor

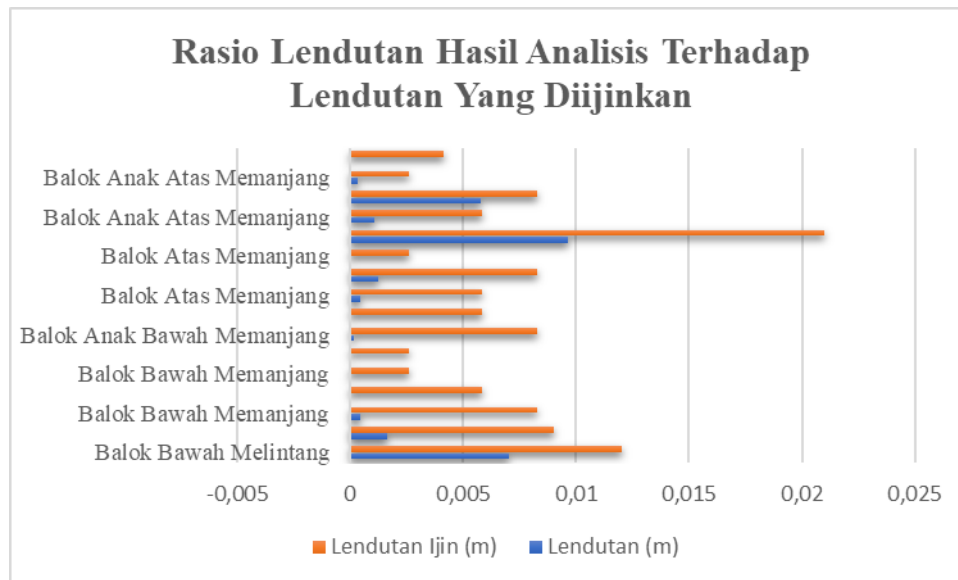
Elemen	Dimensi (cm)	L	Mn (kNm)	Mu (kNm)	Vn (kN)	Vu (kN)
Balok Bawah Melintang	10/20	3,6	10,219	9,815	23,904	10,773
Balok Bawah Melintang	10/20	2,7	10,219	3,808	23,904	11,233
Balok Bawah Memanjang	10/20	2,65	10,219	10,066	23,904	18,681
Balok Bawah Memanjang	10/20	1,75	10,219	0,116	23,904	0,265
Balok Bawah Memanjang	10/20	0,78	10,219	1,149	23,904	10,722
Balok Anak Bawah Memanjang	10/15	0,78	5,748	0,007	17,928	0,035
Balok Anak Bawah Memanjang	10/15	2,65	5,748	1,117	17,928	1,658
Balok Anak Bawah Memanjang	10/15	1,75	5,748	0,035	17,928	0,079
Balok Atas Memanjang	10/12	1,75	3,678	1,806	14,342	9,083
Balok Atas Memanjang	10/12	2,65	3,678	2,328	14,342	3,947
Balok Atas Memanjang	10/12	0,78	3,678	1,258	14,342	6,408
Balok Atas Melintang	10/12	6,3	3,678	2,206	14,342	7,552
Balok Anak Atas Memanjang	10/10	1,75	2,554	0,338	11,952	0,772
Balok Anak Atas Memanjang	10/10	2,65	2,554	0,774	11,952	1,168
Balok Anak Atas Memanjang	10/10	0,78	2,554	0,067	11,952	0,344
Balok Penopang Tiang Raja	10/10	1,24	2,554	0,705	11,952	3,047

Berdasarkan SNI 7973-2013, analisis menunjukkan bahwa tegangan lentur dan geser melebihi kekuatan ultimit material. Balok berukuran $10 \times 20 \text{ cm}^2$ memiliki kapasitas momen lentur nominal sebesar 10,219 kN dan gaya geser nominal 23,904 kN. Hasil analisis struktur menunjukkan momen lentur ultimit 9,815 kN dan gaya geser ultimit 10,733 kN. Tabel 2.28 mengindikasikan bahwa seluruh komponen balok mampu menahan beban yang bekerja. Dimensi balok yang dirancang terbukti memadai terhadap momen dan gaya geser yang terjadi.

Tabel 16. Kontrol Lendutan Ijin

Elemen	Dimensi (cm)	L	Lendutan (m)	Lendutan Ijin (m)
Balok Bawah Melintang	10/20	3,6	0,00705	0,01200
Balok Bawah Melintang	10/20	2,7	0,00164	0,00900
Balok Bawah Memanjang	10/20	2,65	0,00043	0,00830
Balok Bawah Memanjang	10/20	1,75	0,00005	0,00583
Balok Bawah Memanjang	10/20	0,78	-0,00005	0,00260
Balok Anak Bawah Memanjang	10/15	0,78	0,00000	0,00260
Balok Anak Bawah Memanjang	10/15	2,65	0,00020	0,00830
Balok Anak Bawah Memanjang	10/15	1,75	0,00004	0,00583
Balok Atas Memanjang	10/12	1,75	0,00043	0,00583
Balok Atas Memanjang	10/12	2,65	0,00126	0,00830
Balok Atas Memanjang	10/12	0,78	0,00002	0,00260
Balok Atas Melintang	10/12	6,3	0,00966	0,02100

Balok Anak Atas Memanjang	10/10	1,75	0,00107	0,00583
Balok Anak Atas Memanjang	10/10	2,65	0,00581	0,00830
Balok Anak Atas Memanjang	10/10	0,78	0,00036	0,00260
Balok Penopang Tiang Raja	10/10	1,24	-0,00005	0,00413



Gambar 7. Perbandingan Nilai Lendutan Hasil Analisis Terhadap Lendutan yang Diijinkan

Lendutan ijin pada konstruksi terlindungi sebesar $L/300$. Analisis defleksi terbesar menunjukkan nilai yang melebihi ambang batas yang ditetapkan dalam SNI 7973-2013, berdasarkan perhitungan standar. Tabel 16 dan Gambar 7. menunjukkan nilai komponen dengan ukuran yang telah ditetapkan memenuhi kriteria defleksi yang dipersyaratkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu

1. Struktur rumah panggung Tombasian dapat dinyatakan memenuhi syarat kekuatan dan kestabilan. Gaya tekan terbesar terjadi pada kolom dengan dimensi $20 \times 20 \text{ cm}^2$. Untuk gaya tekan ultimate pada kolom $20 \times 20 \text{ cm}^2$ yaitu sebesar 27,845 kN lebih kecil dibanding gaya tekan nominal yaitu sebesar 199,449 kN. Momen lentur dan gaya geser terbesar terjadi pada balok dengan dimensi $10 \times 20 \text{ cm}^2$. Untuk balok dengan dimensi $10 \times 20 \text{ cm}^2$ dengan bentang 3,6 m memiliki momen lentur nominal sebesar 10,219 kNm, sehingga dapat menahan momen lentur ultimate sebesar 9,815 kNm. Sedangkan untuk gaya geser nominal sebesar 23,904 kN yang dapat menahan hasil gaya geser ultimate sebesar 10,773 kN.
2. Besar hasil nilai lendutan yang dialami oleh elemen balok rumah panggung Tombasian lebih kecil dari pada lendutan ijin. Untuk balok dengan dimensi $10 \times 20 \text{ cm}^2$ menghasilkan lendutan sebesar 0,00705 m lebih kecil dari pada lendutan ijin yaitu sebesar 0,012 m, sehingga memenuhi syarat untuk lendutan. Sehingga dapat diartikan bahwa kolom dan balok dimensi rencana memenuhi syarat.
3. Sesuai dengan hasil dari perhitungan sesuai SNI 7973-2013 sehingga menyatakan bahwa struktur rumah panggung Tombasian memenuhi syarat kekuatan dan kestabilan, maka struktur rumah panggung Tombasian memenuhi syarat SNI 7973-2013

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI-7973-2013 Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi kayu. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI-03-1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI-03-1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (1961). Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKINI-5-1961). Jakarta: Badan Nasional
- Desain Spektra Indonesia-PUSKIM. rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021
- Kamurahan, S. R. (2018). Struktur Dan Konstruksi Rumah Panggung Masyarakat Kampung Jawa Tondano (Jaton) Di Tinjau Dari Prinsip-Prinsip Bangunan Tahan Gempa. *Jurnal Arsitektur Dan Perancangan Kota*, 15(1), 1–8. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jmm/article/view/21183>
- Kumaat, E. J., Pandaleke, R., Teknik, F., Sipil, J. T., & Ratulangi, U. S. (2017). *Pengujian kuat lentur kayu profil tersusun bentuk*. 5(2), 103–112.
- Manthani, K., Pertanian, F. T., & Indonesia, J. B. (2019). *Desain dan Analisis Struktur Bangunan Adat Sumatera Barat Terhadap Ketahanan Gempa*. 04(01).
- Nurhaliza, N., Nuklirullah, M., & Bahar, F. F. (2021). Analisis Struktur Balok dan Pelat Lantai Akibat Alih Fungsi Bangunan (Studi Kasus : Gedung Rektorat Universitas Jambi). *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 101. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v10i2.11887>
- Rilatupa, J. (2016). Pemanfaatan kayu pada bangunan di permukiman. Universitas Kristen Indonesia, 8(November), 1–14.
- Seriaty, R., Sompotan, A., & ... (2024). Analisis Seismisitas Di Sulawesi Utara Berdasarkan Data Gempa Bumi Tahun 2018-2022. *Bersatu: Jurnal ...*, 2(2). <https://journal.politeknik-pratama.ac.id/index.php/bersatu/article/view/622%0Ahttps://journal.politeknik-pratama.ac.id/index.php/bersatu/article/download/622/552>
- Tiagas, D. H. (2024). *Kajian Umum Rumah Panggung Walewangko Minahasa Sulawesi Utara*. 2.
- Tampubolon, S. P. (2023). Perbandingan Hasil Analisa Perhitungan Rangka Kuda-Kuda Kayu Dengan Menggunakan SAP-2000 dan Metode Titik Buhul. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat Dan Jejaring*, 5(1). <https://doi.org/10.24167/praxis.v5i1.4443>
- Tampubolon, S. P., & Mulyani, A. S. (2021). Analysis and calculation of wooden framework structure by using Structural Analysis Program (SAP)-2000 and method of joint. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 878(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/878/1/012042>
- Yupa, E. S., Agyms, T. A., Eka, V., & Yuanita, F. (2024). *Analisis Penggunaan Kayu sebagai Bahan Konstruksi dalam Pembangunan : Studi Kasus dan Observasi Lapangan*. xx, 1–6.
- Walangitan, H. A., Mamarimbing, N. A. R. A., Rampengan, N. (2024). Analisis Lendutan Papan Kayu Perletakan Sendi-Rol Dengan Metode Plastis. 2(3), 540-545.