

Evaluasi Struktur Bangunan Eksisting Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu dengan *Analysis Linear Static Procedure Method*

Rahmania^a, Hilda Listiawaty^b dan I Ketut Sulendra^{b*}

^a Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu, Indonesia, 94112

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu, Indonesia, 94112

* Corresponding author's e-mail: ketutsulendra5@gmail.com

Received: 9 July 2026; revised: 8 August 2026; Accepted: 10 August 2026

Abstract: The Palu City Education and Culture Department Building, as a critical facility following the 2018 Palu earthquake, requires a structural performance evaluation to ensure its safety against future seismic hazards, considering its proximity to the Palu-Koro Fault. This study aims to evaluate the existing structure using the ASCE/SEI 41-17 standard. The evaluation methodology commenced with a Tier 1 screening process based on quick checks, with a performance objective of Collapse Prevention (CP) at the BSE-2E hazard level. Subsequently, a three-dimensional structural analysis using software ETABS was conducted to verify serviceability and strength performance (Demand Capacity Ratio/DCR) under load combinations in accordance with SNI 2847:2019 and SNI 1726:2019. The Tier 1 evaluation results indicated critical deficiencies, including the building's location within a surface fault rupture zone, potential overturning instability, excessive column axial and shear stresses, failure of the strong-column weak-beam principle, and inadequate transverse reinforcement detailing. ETABS analysis results showed that the maximum deflection (16.977 mm) still satisfied the allowable limit of $l/240$. However, the strength analysis revealed massive failure: 100% of columns were over stressed with a maximum DCR of 10.165; 211 beam elements possessed actual capacities lower than the required reinforcement demand; and floor slabs failed to meet bending capacity requirements. It is concluded that the existing structure does not meet the Collapse Prevention performance level requirements and declared unsafe, thus necessitating comprehensive structural retrofitting.

Keywords: building, structural evaluation, seismic performance, ASCE/SEI 41-17, linear static procedure

Abstrak: Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu sebagai bangunan vital pasca gempa Palu tahun 2018 memerlukan evaluasi kinerja struktural untuk menjamin keamanannya terhadap potensi gempa di masa mendatang, mengingat lokasinya yang berdekatan dengan Sesar Palu-Koro. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi struktur eksisting menggunakan standar ASCE/SEI 41-17. Metodologi evaluasi diawali proses penyaringan *Tier 1* berbasis *quick check* dengan target kinerja *Collapse Prevention* (CP) pada taraf bahaya BSE-2E. Selanjutnya, dilakukan analisis struktur tiga dimensi menggunakan *software* ETABS untuk memverifikasi kinerja layan dan kekuatan (*Demand Capacity Ratio/DCR*) terhadap kombinasi pembebanan sesuai SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019. Hasil evaluasi *Tier 1* menunjukkan defisiensi kritis: lokasi bangunan pada zona patahan sesar permukaan, potensi ketidakstabilan guling, tegangan aksial dan geser kolom berlebih, kegagalan prinsip *strong column weak beam*, serta detail penulangan sengkang yang tidak memadai. Hasil analisis ETABS menunjukkan lendutan maksimum (16,977 mm) masih memenuhi batas izin $l/240$. Namun, analisis kekuatan menunjukkan kegagalan total: 100% kolom mengalami *overstress* dengan DCR maksimum 10,165; sebanyak 211 elemen balok memiliki kapasitas aktual kurang dari kebutuhan penulangan yang diperlukan; serta pelat tidak memenuhi syarat lentur. Disimpulkan bahwa struktur eksisting tidak memenuhi syarat tingkah kinerja *Collapse Prevention* dan dinyatakan tidak aman, sehingga memerlukan perkuatan struktur (*retrofitting*) secara komprehensif.

Kata kunci: bangunan gedung, evaluasi struktur, kinerja seismik, ASCE/SEI 41-17, linear static procedure

1. Pendahuluan

Masalah utama yang dihadapi pasca gempa kuat adalah kebutuhan untuk mengetahui apakah bangunan yang mengalami kerusakan masih memungkinkan digunakan atau harus dirobohkan/direkonstruksi. Hal ini juga terjadi pasca gempa Palu 28 September 2018 dengan magnitudo 7,5 Mw. Masalah berikutnya adalah bagaimana cara melakukan asesmen dan evaluasi agar dapat diketahui kondisi dan kelayakan bangunan tersebut. Langkah terakhir adalah bagaimana metode perbaikan dan perkuatan dari bangunan yang terdampak agar secepatnya dapat difungsikan kembali. Pasca gempa Palu salah satu bangunan yang terdampak adalah Bangunan Gedung Dinas Pendidikan dan

Kebudayaan, dengan sistem struktur beton bertulang konvensional 2 (dua) lantai. Kerusakan yang terjadi berupa retakan pada elemen non-struktural seperti dinding dan lantai serta rangka langit-langit. Elemen struktural juga mengalami kerusakan berupa beberapa retakan pada kolom, balok dan sambungan balok-kolom dapat dikategorikan segaia rusak sedang [1, 2]. Banyaknya kerusakan struktur bangunan gedung terjadi khususnya di lokasi dekat patahan utama (*near fault*) termasuk bangunan yang menjadi obyek penelitian ini [3]. Penelitian dan kajian tentang kerentanan kota Palu terhadap bahaya gempa telah dilakukan sebelum gempa 2018, yang menunjukkan bahwa daerah ini memiliki risiko tinggi terhadap bencana gempa sehingga diperlukan upaya mitigasi [4]. Identifikasi kerusakan infrastruktur dan

lingkungan pasca gempa telah dilakukan pada wilayah terbatas di sekitar pantai Teluk Palu yang mengalami kerusakan pada jalan, jembatan, jaringan kelistrikan dan air bersih serta pemukiman penduduk [5]. Asesmen dan evaluasi struktur bangunan khususnya di wilayah kota Palu sebelum terjadinya gempa 2018 telah banyak dilakukan [6-8]. Pasca gempa Palu dengan fenomena yang unik dan langka berupa likuifaksi dan tsunami menarik minat para akademisi dan praktisi untuk melakukan penelitian dan kajian. Kajian pada dampak dan perilaku struktur gedung termasuk juga pola sebaran kerusakan bangunan telah diteliti [9-11]. Analisis kerusakan bangunan pada bangunan gedung universitas di Palu juga dilakukan studi [12-14]. Pengaruh tingkatan gempa terhadap nilai kerugian bangunan [15]. Studi tentang asesmen, evaluasi, upaya perbaikan dan kekuatan serta desain dan analisis bangunan tahan gempa di daerah yang berisiko gempa telah juga dilakukan kajian [16, 17]. Kajian lain berupa tindak lanjut pasca gempa tentang penanda bangunan yang mengalami variasi kerusakan, durasi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan asesmen dan proses rehab dan rekon juga telah diusulkan [18]. Kajian tentang prakondisi dan pasca kondisi gempa Palu dengan membandingkan kota Palu dengan kota Wellington dengan kemiripan kondisi geologi dan seismisitasnya telah juga dilakukan yang merupakan '*lessons learned and good practices*' dalam upaya mitigasi bencana dan pengurangan risiko bencana di kota Palu [19]. Penelitian terdahulu yang dilakukan dengan metode yang sama seperti pada penelitian ini juga pernah dilakukan, namun tidak dilakukan dengan tingkat kajian yang mendalam [21]. Kajian tentang kondisi bangunan di kota Palu pasca gempa serta metode yang dilakukan untuk perbaikan dan kekuatan dari struktur bangunan beton bertulang yang mengalami kerusakan juga pernah dianalisis [22]. Analisis kerusakan rangka atap kayu dan *gable frame* baja pasca gempa Palu juga dilakukan kajiannya [23]. Berdasarkan beberapa kajian tersebut tentang perilaku gempa Palu yang mengakibatkan kerusakan infrastruktur yang masif, di mana banyak bangunan mengalami kegagalan akibat inkompatibilitas sistem struktur, detail penulangan yang buruk, serta kualitas material yang rendah. Fenomena ini menegaskan urgensi evaluasi kinerja seismik pada bangunan eksisting di wilayah rawan bencana untuk memitigasi risiko kegagalan struktur di masa mendatang [24].

Evaluasi bangunan eksisting memerlukan pendekatan teknis yang berbeda dengan desain bangunan baru. Standar ASCE/EI 41-17 (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*) menjadi acuan internasional yang komprehensif dalam menilai kinerja bangunan melalui metode seperti *Linear Static Procedure* (LSP). Metode ini memungkinkan penilaian respons struktur terhadap beban lateral secara efektif untuk mengidentifikasi defisiensi kinerja. Penerapan standar ini krusial untuk menentukan apakah suatu bangunan masih layak huni, memerlukan perbaikan ringan, atau membutuhkan kekuatan struktur (*retrofitting*) guna memenuhi target kinerja keselamatan yang ditetapkan [26].

Analisis dan kajian dengan metode LSP ini akan memberikan hasil yang akurat dan komprehensif [26].

Selain itu kebutuhan tulangan pada elemen utama balok dan kolom serta perilaku *strong column weak beam* (SCWB) dapat diketahui serta perbandingan kebutuhan terhadap kapasitas beban (DCR) dapat diketahui. Kegagalan elemen balok dan kolom serta ketidakcukupan tulangannya, sekaligus metode kekuatannya dapat direkomendasikan.

2. Metode Penelitian

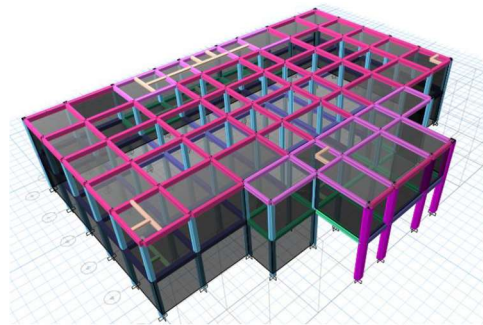
2.1. Lokasi Perencanaan

Lokasi tinjauan berada di Jalan Bantilan No. 5, Kelurahan Lere, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah merupakan gedung yang terdampak oleh gempa 28 September 2018.

2.2. Data Perencanaan Sebelumnya

Data Perencanaan Teknis seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tinggi bangunan : Lt 1 = +4.50 m
Lt 2 = +8.45 m
Atap = +12.0 m



Gambar 1. Pemodelan struktur gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu



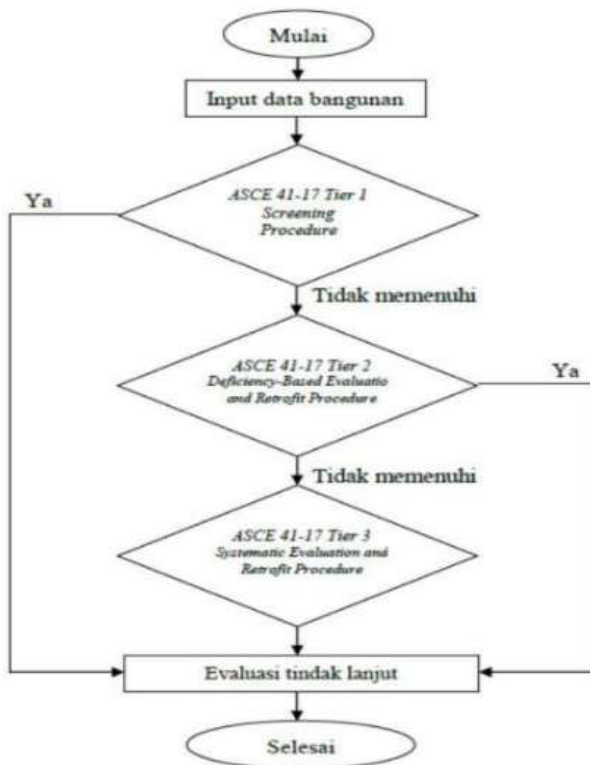
Gambar 2. Foto kerusakan struktur gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu pasca gempa

Data Struktural

Mutu Beton : 30 MPa; Mutu Baja : 420 MPa

2.3. Tahapan Penelitian

Prosedur evaluasi dimulai dengan pengumpulan data eksisting dan melakukan *Tier 1 Screening* Prosedur Berbasis *Checklist*. Selanjutnya dilakukan analisis dengan bantuan *software* ETABS untuk memperoleh gaya-gaya dalam dan respons struktur yang diperlukan. Selengkapnya mengenai alur asesmen dan evaluasi dapat dilihat pada bagan alir (Gambar 3).



Gambar 3. Bagan alur penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Asesmen Tier 1

Bench Mark Bangunan

Penentuan *bench mark* bangunan dimulai dari penentuan kategori risiko bangunan berdasarkan SNI 1726:2019, level kinerja bangunan dan level seismisitas berdasarkan Tabel 1. Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu termasuk dalam kategori risiko II, sehingga dapat diklasifikasikan ke dalam level kinerja bangunan BSE-1E atau BSE-2E. Namun, berdasarkan ASCE/SEI 41-17, evaluasi terhadap kelompok BSE-1E tidak diwajibkan untuk bangunan dengan kategori risiko II. Selain itu, dalam lingkup pembahasan telah disebutkan bahwa penelitian ini hanya berfokus pada analisis struktural. Oleh karena itu, analisis Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu hanya difokuskan pada kelompok BSE-2E, yaitu Kinerja Struktural Pencegahan (CP).

Tabel 1. Level Kinerja Bangunan

Kategori	Level Bahaya Gempa	
Risiko	BSE-1E	BSE-2E

I & II	Life Safety Structural Performance Life Safety Nonstructural Performance (3-C)	Collapse Prevention Structural Performance Hazards Reduced Nonstructural Performance (5-D)
III	Damage Control Structural Performance Position Retention Nonstructural Performance (2-B)	Limited Safety Structural Performance Hazards Reduced Nonstructural Performance (4-D)
IV	Immediate Occupancy Structural Performance Position Retention Nonstructural Performance (1-B)	Life Safety Structural Performance Hazards Reduced Nonstructural Performance (3-D)

3.2. Check-list Konfigurasi Dasar Bangunan

Check-list konfigurasi dasar bangunan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ceklis Konfigurasi Dasar Bangunan

Item yang Dievaluasi	Kriteria Evaluasi	Hasil Evaluasi	Ket
Jalur Beban	Jalur beban menyalurkan gaya inersia ke pondasi.	Jalur beban lengkap, pondasi terhubung ke kolom.	C
Bangunan Berdampin gan	Jarak antar gedung $\geq$ dari persentase tinggi bangunan terpendek	Gedung ini berdiri sendiri	C
Mezanin	Dijepit sistem penahan gempa sendiri	Tidak terdapat lantai mezanin.	NA
Tingkat Lemah	Kekuatan geser minimal 80% dari kekuatan geser lantai di atasnya.	Tinggi elemen kolom tidak signifikan	C
Tingkat Lunak	Kekakuan min 70% dari lantai di atasnya atau 80% dari rata-rata 3 lantai di atasnya.	Tiap lantai memenuhi syarat kekakuan	C
Ketidak-beraturan Vertikal	Elemen vertikal menerus ke fondasi	Semua elemen vertikal menerus	C
Geometri	Perubahan dimensi maksimal 30%.	Memenuhi syarat dimensi	C
Massa	Perubahan berat Maksimal 50%. tidak berlaku untuk atap ringan	Gedung ini menggunakan atap ringan	NA
Torsi	Eksentrisitas maksimal 20%	Jarak pusat massa dan kekakuan memenuhi kriteria	C
Likuifaksi	Tanah wajib bebas likuifaksi	Tidak ada data tanah	U
Kegagalan Lereng	Wajib aman dari longsor akibat beban gempa.	Tidak terdapat kemiringan lereng.	C

Item yang Dievaluasi	Kriteria Evaluasi	Hasil Evaluasi	Ket
Patahan Sesar Permukaan	Lokasi bebas sesar permukaan	Tidak jauh dari patahan sesar palu-koro	NC
Guling	Rasio terhadap bangunan (alas/tinggi) lebih besar dari 0,6 Sa	Rasio d/h = 0,1892 lebih kecil dari 0,6 Sa = 0,7100	NC
Sengkang Ikat Pondasi	Fondasi wajib saling ikat khususnya di luar situs tanah keras A, B, C	Sengkang ikat memadai dan pondasi dikekang oleh balok	NA

Keterangan:

Memenuhi Syarat (C); Tidak Memenuhi Syarat (NC)

Tidak Berlaku (NA); Tidak Diketahui (U)

3.3. Ceklis Struktural Kinerja Collapse Prevention (CP) untuk Rangka C1

Ceklis struktural kinerja collapse prevention (CP) untuk rangka C1 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ceklis Struktural Collapse Prevention (CP)

Item yang Dievaluasi	Kriteria Evaluasi	Hasil Evaluasi	Ket
Cek Tegangan Aksial Kolom	Tidak boleh melebihi 0,20 f'c untuk beban gravitasi dan 0,30 f'c untuk gaya seismik.	Tegangan pada lantai 1 arah X dan Y melampaui batas izin 0,3 f'c = 9 MPa	NC
Cek Tegangan Geser Kolom	Tidak boleh lebih dari 0,69 MPa atau 0,17√f'c (pilih yang lebih besar).	Tegangan yang terjadi secara signifikan melebihi kapasitas izin (0,931 MPa).	NC
Kolom Tertahan	Rasio kolom minimal 50%	Memiliki rasio tinggi / kedalaman yang sesuai.	C
Tidak Ada Kegagalan Geser	Rangka mampu mencapai kapasitas momen di setiap tumpuan elemen.	Geser nominal joint lebih kecil = 402492,236 N dari gaya geser yang terjadi akibat momen plastis di ujung elemen = 824878,160 N.	NC
Kolom Kuat Balok Lemah	Kapasitas momen kolom 20% lebih besar daripada balok yang tersambung ke sendi rangka.	momen nominal kolom K1 (ΣMn_c) hanya sebesar 184,740 kNm, sedangkan momen nominal balok sebesar $1,2 \times 254,741 = 305,689$ kNm.	NC
Spasi Sengkang Kolom	Maksimal d/4 di seluruh tinggi, 8db di area sendi plastis	Spasi sengkang lebih besar dari d/4 dan 8db.	NC

Item yang Dievaluasi	Kriteria Evaluasi	Hasil Evaluasi	Ket
Spasi Sengkang Balok	Maksimal d/2, namun diperketat menjadi d/4 area sendi plastis	Spasi sengkang lebih besar dari d/2 dan 8db atau d/4.	NC
Sengkang Pada Sendi	Spasi tidak lebih dari 8db.	Spasi sengkang lebih besar dari batas maksimum, 8db.	NC
Kompatibilitas Deformasi	Kapasitas geser melebihi lentur	Mampu untuk menahan gaya geser untuk mencapai kekuatan lentur.	C
Kontinuitas Diafragma	Tanpa split dan expansion joint	Tidak terdiri dari lantai split dan expansion joint	C

Keterangan:

Memenuhi Syarat (C); Tidak Memenuhi Syarat (NC)

Tidak Berlaku (NA); Tidak Diketahui (U)

3.4. Analisis Struktur

Pemmodelan struktur Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota palu dilakukan dengan bantuan *software* ETABS.

3.4.1. Beban Mati

Beban Mati Akibat Berat Sendiri

Elemen struktur akan dihitung secara otomatis oleh ETABS. Dalam hal ini, ETABS akan menghitung berat setiap elemen sesuai dengan dimensinya, serta dengan berat isi beton bertulang sebesar 2400 kg/m³.

1) Berat Beban Mati Akibat Berat Elemen Nonstruktural (SDL)

- Beban tambahan pada lantai atap = 0,742 kN/m²
- Beban tambahan pada pelat lantai = 0,927 kN/m²
- Beban dinding partisi per m² = 0,72 kN/m²
- Beban kuda-kuda = 0,518 kN
- Beban atap (A atap = 485 m²) = 21,213 kN

3.4.2. Beban Hidup

Beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020.

- Beban merata pada pelat atap = 0,960 kN/m²
- Beban merata pada pelat lantai = 8,620 kN/m²
- Kantor = 2,40 kN/m²
- Tangga = 4,79 kN/m²

3.4.3. Beban Angin

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 rekapitulasi perhitungan beban angin di atas, diperoleh nilai beban angin maksimum sebesar 0,618 kN/m². Nilai kurang dari syarat beban angin minimum pada SNI 1727:2020 sebesar 0,77 kN/m². Oleh karena itu, digunakan nilai beban angin minimum sebesar 0,77 kN/m² pada bangunan yang direncanakan.

Tabel 4. Rekapitulasi beban angin arah X

Ketinggian, z (m)	Beban angin, P (kN/m ²)		
	Dinding Sisi Angin Datang	Dinding Sisi Angin Pergi	Dinding Tepi
4,5	0,492	-0,313	-0,443
8,45	0,607	-0,386	-0,547
9,4	0,686	-0,437	-0,618

Tabel 5. Rekapitulasi beban angin Arah Y

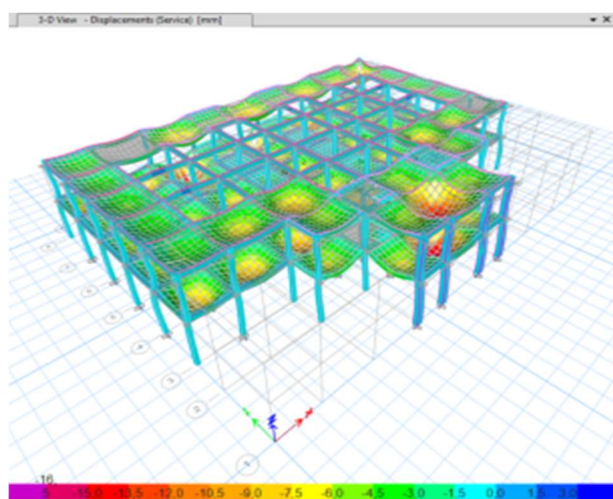
Ketinggian, z (m)	Beban angin, P (kN/m ²)		
	Dinding Sisi Angin Datang	Dinding Sisi Angin Pergi	Dinding Tepi
4,5	0,492	-0,346	-0,443
8,45	0,492	-0,427	-0,443
9,4	0,492	-0,483	-0,443

3.4.4. Beban Gempa

Lokasi bangunan diketahui berlokasi di Kota Palu dengan klasifikasi situs tanah yaitu Tanah Keras (SC). Parameter percepatan gempa diambil dari <https://rsa.ciptakarya.pu.gp.id/2021/>.

3.5. Kontrol Lendutan

Berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 pasal 24.2.1, dinyatakan bahwa analisis komponen struktur lentur wajib memperhitungkan kekakuan yang cukup dengan tujuan untuk mengontrol besarnya lendutan agar tidak sampai pada tingkat yang dapat membahayakan (Gambar 4).


Gambar 7. Displacement beban gravitasi

Lendutan yang terjadi pada pelat lantai As E-F/7-8, Uz =16,977 mm, berdasarkan Tabel 6 batas lendutan maksimum yang digunakan untuk atap atau lantai.

Tabel 6. Rekapitulasi red zone pada displacement

Frame	Story	L (mm)	L/240	UZ
E-F/1-2	1	5000	20,833	15,511
E-F/7-8	1	5000	20,833	16,977
C-D/7-8	1	4750	19,792	16,96
G-H/7-8	1	4750	19,792	13,103
E-F/1-2	2	5000	20,833	13,411
I-J/7-8	2	3750	15,625	14,534

Berdasarkan Tabel 6, maka lendutan yang terjadi memenuhi lendutan izin.

3.6. Pemeriksaan Kekuatan Elemen Struktur

Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu akan dilakukan pengecekan tiap elemen terhadap kondisi eksisting. Analisis ini menggunakan hasil pembebanan gravitasi dan gempa. Berdasarkan output desain dari ETABS akibat beban gravitasi dan beban gempa, semua struktur kolom secara teknis tidak mampu menahan kombinasi beban gravitasi dan gempa karena Demand/Capacity Ratio terbesar = 10,165>1 (Tidak Aman).

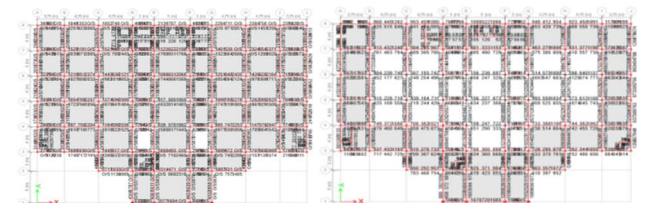
Semua kolom K1 (30/30) dan K2 (40/50) lantai 1 dan lantai 2 secara teknis telah memenuhi syarat (C) untuk menahan kombinasi beban. Dari hasil analisis ETABS dapat dilihat bahwa dalam kondisi beban gravitasi dan beban gempa, gaya yang terjadi berada di luar diagram P-M2-M3 dari penampang kolom. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua kolom K1 (30/30) dan K2 (40/50) baik lantai 1 maupun lantai 2 secara teknis belum memenuhi syarat (NC) untuk menahan kombinasi beban gravitasi dan beban gempa (Tabel 7).

Tabel 7. Rekapitulasi pengecekan D/C rasio kolom

Lantai	Kondisi Beban Gravitasi		Kondisi Beban Gravitasi + Gempa	
	Jumlah Kolom yang Gagal	Rasio PMM Max	Jumlah Kolom yang Gagal	Rasio PMM Max
Lantai 1	0	0,438	100	10,165
Lantai 2	0	0,654	100	4,617
Total	0		200	

Pengecekan Elemen Struktur Balok

Tahapan pengecekan elemen balok dihitung langsung oleh perangkat lunak Etabs. Berdasarkan perhitungan otomatis tersebut, diperoleh luas tulangan perlu seperti pada Gambar 8.


Gambar 8. Output As_{perlu} tulangan longitudinal lantai 1 dan 2

Tabel 8. Pengecekan penulangan longitudinal balok Lantai 2

Nama	Dimensi		Daerah	Letak Tulangan	As perlu (mm ²)	As min (mm ²)	D (mm)	A (mm ²)	n	As aktual (mm ²)	Cek	Terpasang		
	b (mm)	h (mm)												
B1	250	450	Tump.	Atas	3696	263.846	16	201.06	4	804.248	NC	4	D	16
				Bawah	O/S	263.846	16	201.06	3	603.186	NC	3	D	16
			Lap.	Atas	935	263.846	16	201.06	5	1005.310	C	5	D	16
				Bawah	1489	263.846	16	201.06	2	402.124	NC	2	D	16
B2	200	350	Tump.	Atas	4964	157.231	16	201.06	3	603.185	NC	3	D	16
				Bawah	O/S	157.231	16	201.06	2	402.123	NC	2	D	16
			Lap.	Atas	1682	157.231	16	201.062	2	402.123	NC	2	D	16
				Bawah	O/S	157.231	16	201.06	3	603.185	NC	3	D	16
B3	150	250	Tump.	Atas	275	78.346	12	113.09	2	226.194	NC	2	D	12
				Bawah	126	78.346	12	113.09	2	226.194	C	2	D	12
			Lap.	Atas	77	78.346	12	113.09	2	226.194	C	2	D	12
				Bawah	77	78.346	12	113.09	2	226.194	C	2	D	12

Tabel 9. Pengecekan penulangan longitudinal balok lantai atap

Nama	Dimensi		Daerah	Letak Tulangan	As perlu (mm ²)	As min (mm ²)	D (mm)	A (mm ²)	n	As aktual (mm ²)	Cek	Terpasang		
	b (mm)	h (mm)												
R1	150	450	Tump.	Atas	1658	158.308	16	201.062	2	402.124	NC	2	D	16
				Bawah	O/S	158.308	16	201.062	2	402.124	NC	2	D	16
			Lap.	Atas	850	158.308	16	201.062	2	402.124	NC	2	D	16
				Bawah	1031	158.308	16	201.062	2	402.124	NC	2	D	16
R2	150	350	Tump.	Atas	1289	117.923	16	201.062	2	402.123	NC	2	D	16
				Bawah	1198	117.923	16	201.062	2	402.123	NC	2	D	16
			Lap.	Atas	525	117.923	16	201.062	2	402.123	NC	2	D	16
				Bawah	656	117.923	16	201.062	2	402.123	NC	2	D	16
R3	150	200	Tump.	Atas	197	58.154	12	113.097	2	226.194	C	2	D	12
				Bawah	147	58.154	12	113.097	2	226.194	C	2	D	12
			Lap.	Atas	177	58.154	12	113.097	2	226.194	C	2	D	12
				Bawah	124	58.154	12	113.097	2	226.194	C	2	D	12

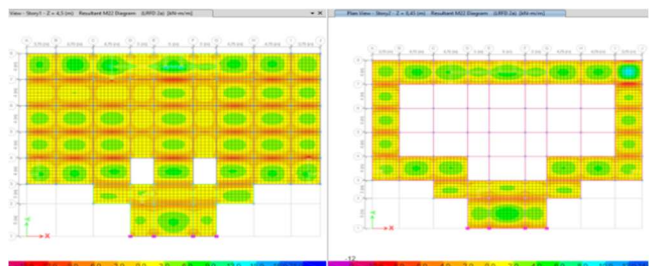
Berdasarkan hasil analisis otomatis program ETABS, semua struktur balok yang berada pada lantai 2 secara teknis tidak mampu menahan kombinasi beban karena $A_s \text{ tulangan} > A_s \text{ Aktual}$. Sedangkan pada balok atap, terdapat beberapa struktur yang secara teknis tidak mampu menahan kombinasi beban (Tabel 8 dan Tabel 9). Rekapitulasi pengecekan jumlah balok gagal disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi pengecekan jumlah balok gagal

Lantai	Kondisi Beban Gravitasi + Gempa
	Jumlah balok yang gagal
Lantai 2	100
Lantai Atap	111
Total	211

Pengecekan Elemen Struktur Pelat Lantai

Berdasarkan *as built drawing* gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu pelat lantai dan pelat atap menggunakan tulangan polos dengan jarak $\phi 10 - 150$. Dari hasil analisis ETABS diperoleh untuk Lantai 1 Momen nominal, $M_n = 12,754 \text{ kN/m}$, dimana $0,9 M_n > \mu_u$ (tidak memenuhi). Untuk Lantai 2 Momen nominal = $9,822 \text{ kN/m}$, juga tidak memenuhi (Gambar 9).


Gambar 9. Diagram momen pelat lantai 2 dan atap

Berdasarkan hasil evaluasi struktur bangunan gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu yang menggunakan prosedur *quick check* Tier 1, pada pengecekan konfigurasi dasar bangunan menunjukkan bahwa secara umum struktur gedung ini memiliki beberapa karakteristik yang baik dan sesuai peraturan, seperti jalur beban yang lengkap dan menerus ke pondasi, tidak adanya isu pada tingkat lemah atau tingkat lunak, serta geometri vertikal yang seragam.

Adapun hasil analisis kinerja struktural rangka momen (*collapse prevention*), pada bangunan gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu menunjukkan

bahwa terdapat defisiensi yang lebih kritis dan mendasar pada sistem rangka pemikul momen. Meskipun struktur memiliki redudansi yang baik, tetapi ada beberapa kriteria fundamental untuk kinerja daktail yang tidak terpenuhi:

1) Kelemahan pada elemen kolom pada lantai 1 mengalami tegangan aksial yang melampaui batas izin 0,3 f_c. Tegangan geser yang terjadi pada kolom di kedua lantai secara signifikan melebihi kapasitas yang diizinkan oleh ASCE/SEI 41-17. Dengan kondisi ini, kolom berada dalam kondisi kritis bahkan sebelum mencapai kapasitas non-liniernya. Kemudian pada detail tulangan, spasi sengkang pada kolom, balok dan terutama pada sambungan balok-kolom (*joint*) tidak memadai. Detail penulangan ini teridentifikasi lebih besar dari batas maksimum yang disyaratkan. Pada jarak sengkang yang terlalu renggang menyebabkan kurangnya kekangan (*confinement*) pada inti beton dan kapasitas geser yang rendah. Dengan hal tersebut, defisiensi detail ini sangat membahayakan karena dapat memicu kegagalan getas.

2) Indikasi mekanisme keruntuhan getas (*brittle failure*), terdapat kegagalan pada prinsip *strong-column weak-beam* yaitu pada sambungan kolom K1 menunjukkan bahwa jumlah kapasitas momen nominal kolom (184,740 kNm) jauh lebih kecil dari 1,2 kali jumlah momen nominal balok (305,689 kNm). Kegagalan pada pernyataan ini termasuk Tidak Memenuhi Syarat (NC) yang sangat berbahaya karena dapat memicu terbentuknya sendi plastis pada kolom, bukan pada balok serta dapat menyebabkan mekanisme keruntuhan tingkat lunak (*soft-story collapse*). Kemudian, terdapat kegagalan geser pada sambungan yang menunjukkan bahwa kapasitas geser nominal pada sambungan balok-kolom lebih kecil daripada gaya geser yang timbul akibat momen plastis di ujung-ujung elemen. Hal ini berarti sambungan (*joint*) kemungkinan besar akan mengalami kegagalan geser sebelum balok di sekitarnya mampu mengembangkan daktilitas lenturnya secara penuh (Tabel 11 dan Tabel 12). Dimana kegagalan pada sambungan bersifat getas dan harus dihindari.

Tabel 11. Rekapitulasi pengecekan kapasitas kolom kondisi beban gravitasi + beban gempa

Kolom	Story	Komb.	Tipe	P _u (kN)	M ₂ (kNm)	M ₃ (kNm)	D/C Ratio	Keterangan
K1	Lt. 1	LRFD 7b	C59	36,444	-469,302	36,922	6,262	NC
		LRFD 7b	C27	329,301	-294,362	46,052	4,063	NC
		LRFD 7b	C28	308,694	-292,161	56,526	4,111	NC
	Lt. 2	LRFD 7b	C66	67,851	-269,146	32,710	3,685	NC
		LRFD 7b	C30	84,029	-131,826	27,330	1,881	NC
		LRFD 7b	C32	28,285	-240,173	9,468	3,114	NC
		LRFD 7b	C28	80,999	-131,821	32,108	1,916	NC
K2	Lt. 1	LRFD 7b	C68	152,741	-634,134	-181,129	3,495	NC
		LRFD 7b	C69	-216,256	-636,280	-193,725	3,555	NC
	Lt. 2	LRFD 7b	C68	-20,234	-325,068	21,411	1,693	NC
		LRFD 7b	C67	-281,343	-629,040	-144,081	3,521	NC

Tabel 12. Rekapitulasi pengecekan kapasitas lentur balok kondisi beban gravitasi + beban gempa

Balok	Story	Tipe	Lokasi	Komb.	Tul. Aktual	M _u (kNm)	M _r (kNm)	ØM _n (kNm)	M _u /ØM _n	Ket.
B1	Lt. 1	B54	Tump.	LRFD 6b	4 D 16	52,461	58,290	129,025	0,407	C
			Lap.	LRFD 6b	5 D 16	26,230	29,145	155,495	0,169	C
	Lt. 1	B41	Tump.	LRFD 7a	4 D 16	115,538	128,375	129,025	0,895	C
			Lap.	LRFD 7a	5 D 16	395,633	439,592	155,495	2,544	NC
	Lt. 1	B98	Tump.	LRFD 6b	4 D 16	59,069	65,632	129,025	0,458	C
			Lap.	LRFD 6b	5 D 16	29,535	32,816	155,495	0,190	C
B2	Lt. 1	B103	Tump.	LRFD 7a	3 D 16	184,335	204,817	69,408	2,656	NC
			Lap.	LRFD 7a	3 D 16	92,168	102,408	69,408	1,328	NC
	Lt. 1	B3	Tump.	LRFD 7a	3 D 16	240,424	267,138	69,408	3,464	NC
			Lap.	LRFD 7a	3 D 16	120,212	133,569	69,408	1,732	NC
	Lt. 1	B102	Tump.	LRFD 7a	3 D 16	194,832	216,480	69,408	2,807	NC
			Lap.	LRFD 7a	3 D 16	97,416	108,240	69,408	1,404	NC
B3	Lt. 1	B128	Tump.	LRFD 6b	2 D 12	21,328	23,697	18,095	1,179	NC
			Lap.	LRFD 6b	2 D 12	10,664	11,849	18,095	0,589	C
	Lt. 1	B130	Tump.	LRFD 2b	2 D 12	0,000	0,000	18,095	0,000	C
			Lap.	LRFD 2b	2 D 12	17,657	19,619	18,095	0,976	C

3) Ketidakpastian akibat data detail sambungan lewatan (*splice*) untuk tulangan kolom dan balok tidak

ditemukan pada gambar *as-built*, sehingga status evaluasi menjadi Tidak Diketahui (U) dan dapat

menambah ketidakpastian terhadap perilaku struktur terutama pada lokasi-lokasi kritis dimana daktilitas diperlukan.

Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu dianalisis menggunakan perangkat lunak ETABS yang mencakup analisis pembebanan, pengecekan lendutan, serta evaluasi kekuatan elemen struktur eksisting terhadap kombinasi beban gravitasi dan beban gempa sesuai dengan standar SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Analisis kinerja struktur dibagi menjadi dua tinjauan utama yaitu kinerja layan (*serviceability*) yang diwakili oleh lendutan dan kinerja kekuatan (*strength*) yang diwakili oleh rasio DCR elemen. Berdasarkan hasil analisis lendutan maksimum yang terjadi pada pelat lantai akibat beban gravitasi masih dalam kategori aman. Kekakuan elemen lentur dinilai memadai untuk mengontrol lendutan agar tidak mengganggu fungsi kelayakan bangunan.

Kemudian, pada pengecekan DCR (*Demand/ Capacity Ratio*) pada kolom memberikan hasil yang sangat kontras antara dua kondisi pembebanan. Kondisi beban gravitasi seluruh elemen kolom dinyatakan aman sedangkan kondisi beban gravitasi dan beban gempa menunjukkan kegagalan yang masif pada elemen kolom. Semua kolom baik dilantai 1 maupun lantai 2 dinyatakan Tidak Aman karena nilai DCR > 1,0

Begitupun pada elemen balok yang menunjukkan kinerja tidak memadai berdasarkan rekapitulasi kegagalan ini disebabkan karena luas tulangan perlu (A_s perlu) yang didapat dari hasil analisis ETABS lebih besar daripada luas tulangan aktual (A_s aktual) yang terpasang. Untuk pelat lantai dilakukan pengecekan secara manual berdasarkan *as-built drawing* yang kemudian membandingkan kapasitas momen nominal balok dengan momen ultimit dari hasil ETABS, dari hasil perhitungan tersebut kapasitas pelat lantai dan pelat atap tidak aman.

4. Kesimpulan

- Pada pengecekan ditemukan bahwa: Jalur beban, bangunan berdampingan, tingkat lemah, tingkat lunak, ketidakberaturan vertikal, geometri, torsi, dan kegagalan lereng telah memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh standar ASCE/SEI 41-17.
- Pada pengecekan dan analisis kinerja struktural rangka momen (*collapse prevention*) ditemukan bahwa: Redundansi, kolom beton, dinding menghalangi, kolom tertahan, tulangan balok, dan kompatibilitas deformasi telah memenuhi syarat yang telah diizinkan oleh ASCE/SEI 41-17. Tetapi pada tegangan aksial lantai 1 arah X dan Y melampaui batas izin yaitu 0,3 f'c (6 MPa) lebih kecil dari 9 MPa, tegangan geser yang terjadi pada kedua lantai baik arah X maupun arah Y secara signifikan melebihi kapasitas yang diizinkan oleh ASCE/SEI 41-17 dimana $0,17\sqrt{f'c}$ (0,760 MPa) lebih kecil dari 0,931 MPa, kapasitas geser nominal pada joint (sambungan balok-kolom) lebih kecil 402.492,236 N daripada gaya geser yang terjadi akibat momen plastis di ujung-ujung elemen 824.878,160 N, jumlah kapasitas momen nominal kolom K1 (ΣMn_c) hanya sebesar 184,740 kNm sedangkan momen nominal balok (ΣMn_b)

sebesar 1,2 ΣMn_b (305,659 kN.m), spasi sengkang pada semua tipe kolom K1, K2, dan K3 lebih dari d/4 dan $8d_b$, spasi sengkang balok semua tipe B1, B2, B3 lebih besar dari syarat d/2 dan d4, dan spasi sengkang pada sendi melebihi batas maksimum. Sehingga semua pernyataan ini Tidak Memenuhi Syarat (NC) yang diizinkan oleh ASCE/SEI 41-17.

- Setelah dilakukan asesmen menggunakan standar ASCE/SEI 41-17 dan analisis menggunakan ETABS serta *spColumn* menunjukkan bahwa tingkat keamanan struktural Gedung Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Palu belum sepenuhnya memenuhi standar *Collapse Prevention* (CP). Hasil mencakup konfigurasi dasar, ceklis struktural rangka momen, dan kapasitas elemen struktural mengungkapkan beberapa kekurangan, terutama pada kolom dan balok yang memiliki kapasitas geser dan momen yang kurang memadai. Meskipun beberapa elemen sudah memenuhi syarat, namun risiko yang signifikan pada beberapa bagian struktur menunjukkan bahwa perlu ada analisis lebih lanjut dan perkuatan tambahan agar bangunan ini dapat mencapai kinerja seismik yang optimal sesuai dengan standar yang berlaku.
- Rekomendasi yang dapat diberikan adalah perlunya perkuatan pada elemen kolom menggunakan metode *concrete jacketting* agar filosofi *strong column-weak beam* dapat terpenuhi. Selain itu perkuatan balok dengan metode CFS juga perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kekuatan gesernya.

Daftar Pustaka

- H. Listiawaty, I.K. Sulendra, and T. Hilmansyah, "Asesmen Bangunan Gedung Pemda Kota Palu, Donggala dan Parigi Moutong Pasca Gempa 28 September 2018", *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, vol. 3, no. 1, pp. 61–66, 2022. <https://doi.org/10.22487/renstra.v3i1.414>.
- Abdullah, M.D.T. Musa, S. Sandra, A.I. Abdullah, H. Jayadi, and D. Rivaldy, "Surface Rupture Damage Effect on the Active Palu-Koro Fault in Palu City, Indonesia", *Gravitasi*, vol. 22, no. 1, pp. 23–30, 2023. <https://doi.org/10.22487/gravitasi.v22i1.16195>.
- S. Ramadhani, "Kondisi Seismisitas dan Dampaknya untuk Kota Palu", *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, vol. 1, no. 2, pp. 111–119, 2011.
- R. Paulik, A. Gusman, J.H. William, G.M. Pratama, S. Lin, A. Prawirabakti, K. Sulendra, M.Y. Zachari, E.D. Fortuna, N.B.P. Layuk, and N.W.I. Suwarni, "Tsunami Hazard and Built Environment Damage Observations from Palu City after the September 28, 2018 Sulawesi Earthquake and Tsunami", *Pure and Applied Geophysics*, vol. 176, no. 8, pp. 3305–3321, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02254-9>.
- A.D.W. Nasrullah, S. Hanifarianty, and I. Fauzi, "Pola Sebaran Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Bumi Berbasis Metode Inverse Distance Weighting (Studi Kasus Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah)", *Jurnal*

- Pendidikan Ilmu Sosial*, vol. 28, no. 2, pp. 147–155, 2019. <https://doi.org/10.17509/jpis.v28i2.14715>.
- [6] P. Simanjuntak, S.P. Tampubolon, and H.P. Hamal, “Evaluasi Respons Seismik Struktur Bangunan Universitas Palu terhadap Gempa Sulteng 28 September 2018”, *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 3, no. 2, pp. 119–129, 2022.
- [7] I.K. Sulendra, “Asesmen Bangunan Gedung di Universitas Tadulako Palu Pasca Gempa 28 September 2018 untuk Pelaksanaan Rehabilitasi dan Rekonstruksi”, *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 2021.
- [8] E.O. Saputra, Z.F. Wirawan, A.P. Akbarrina, M.S. Tsauri, and A. Muid, “Pengaruh Tingkatan Gempa terhadap Nilai Kerugian Bangunan Dua Lantai Menggunakan Metode LSE dan RSA”, *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 11–17, 2026. <https://doi.org/10.37058/aks.v7i2.17419>.
- [9] R. Faizah and M.I. Syamsi, “Asesmen Cepat Kerentanan Bangunan Sekolah Muhammadiyah terhadap Gempabumi di Kecamatan Kasihan Bantul (DIY)”, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, vol. 20, no. 2, pp. 164–171, 2017.
- [10] I.K. Sulendra, “Evaluasi dan Tindakan Pengurangan Kerusakan Bangunan Berdasarkan Peta Zonasi Gempa Tahun 2010”, *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, vol. 1, no. 2, pp. 71–78, 2011.
- [11] I.K. Sulendra, “Evaluasi Struktur Bangunan Administrasi RSUD Undata”, *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, vol. 2, no. 1, pp. 46–55, 2012.
- [12] I.K. Sulendra, “Evaluasi dan Perbaikan Struktur Gedung DPRD Morowali Berdasarkan Peta Gempa 2010”, *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, vol. 3, no. 1, 2013.
- [13] S.P. Tampubolon, I.P.E. Sarasantika, and I.W.G. Suarjana, “Analisis Kerusakan Struktur Bangunan dan Manajemen Bencana Akibat Gempa Bumi, Tsunami, dan Likuifaksi di Palu”, *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 169–186, 2022. <https://doi.org/10.33558/bentang.v10i2.3263>.
- [14] A. Masdar, Y. Pratiwi, A.D. Masdar, and Noviarti, “Penilaian Kelayakan Struktur Gedung Kuliah Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh”, *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, vol. 11, no. 2, pp. 138–143, 2024. <https://doi.org/10.21063/jts.2024.V1102.0138-143>.
- [15] S. Khakurel, T.Z. Yeow, S.K. Saha, and R.P. Dhakal, “Post-Earthquake Building Assessments: How Long Do They Take?”, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, vol. 56, no. 2, pp. 115–126, 2023. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.1568>.
- [16] K. Sulendra, G. Turu’allo, and A. Siregar, “The Twins City of Wellington-Palu and Lessons Learned After the Six Years Sulawesi Earthquake for Build Back Better”, *International Journal of Latest Technology in Engineering Management & Applied Science*, vol. XIV, no. 1, pp. 269–276, 2025. <https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2025.1401029>.
- [17] Y.A. Adhitama, B. Supriyadi, and B. Suhendro, “Evaluasi Seismik Gedung Bertingkat Eksisting Menggunakan Prosedur ASCE 41-17”, *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, vol. 6, no. 1, pp. 2–10, 2022.
- [18] S. Maricar, A. Dolu, and A. Rivani, “Asesmen dan Pemeriksaan Detail Bangunan Gedung Eksisting Pasca Gempa”, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tadulako, Palu, 2021.
- [19] H. Khoeri, “Pemilihan Metode Perbaikan dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus pada Bank Sulteng Palu)”, *Konstruksia*, vol. 12, no. 1, pp. 93–104, 2021. <https://doi.org/10.24853/jk.12.1.93-104>.
- [20] K. Sulendra, G. Turu’allo, and A.P.N. Siregar, “The Study of Resistant Earthquake Building of Timber Roofs Structure and Its Retrofit and Redesign after the September 28, 2018 Earthquake”, *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, vol. 9, no. 1, pp. 19–27, 2023. <https://doi.org/10.22487/jst.v9i1.445>.
- [21] K. Sulendra, H. Listiawaty, and M. Sutrisno, “Perilaku Struktural Gable Frame Baja dengan Variasi Bentang, Jumlah Portal dan Kelas Situs pada Daerah Risiko Gempa Besar”, *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, vol. 5, no. 2, pp. 141–150, 2024. <https://doi.org/10.22487/renstra.v5i2.620>.
- [22] American Society of Civil Engineers (ASCE), *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-17)*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2017. ISBN 9780784414859.
- [23] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [24] Badan Standardisasi Nasional, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2020.
- [25] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [26] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, “Peta Percepatan Puncak dan Spektrum Respons untuk Probabilitas Terlampaui 20% dalam 50 Tahun (Periode Ulang Gempa 225 Tahun) dan 5% dalam 50 Tahun (Periode Ulang Gempa 975 Tahun)”, *PusGen*, 2021.

This page is intentionally left blank