



ANALISIS STRUKTUR GEDUNG PERPUSTAKAAN UMUM KOTA BUKITTINGGI BERDASARKAN SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, DAN SNI 1727:2020 MENGUNAKAN ETABS V.22

Mhd Irfan Muhajir^{ID}, Selpa Dewi^{ID}, Muhammad Taufiq^{ID}

Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat
Bukittinggi, Indonesia

Abstrak. Gedung Perpustakaan Umum Kota Bukittinggi merupakan fasilitas publik yang tengah menghadapi sorotan terkait dugaan ketidaksesuaian pelaksanaan struktur, sementara lokasinya berada di wilayah rawan gempa tinggi sehingga diperlukan verifikasi teknis yang objektif. Penelitian ini bertujuan menganalisis struktur atas dan struktur bawah bangunan tiga lantai tersebut menggunakan perangkat lunak ETABS v.22, mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 1727:2020, dengan Sistem Ganda (SRPMK dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus), beton K-300, dan baja tulangan U-35. Metode penelitian bersifat kuantitatif melalui pemodelan tiga dimensi, analisis respons spektrum, dan perhitungan manual sebagai pembanding. Verifikasi independen ini mengungkap kontribusi awal SRPMK arah Y hanya 17,08% (belum memenuhi syarat minimum 25%) sehingga memerlukan faktor koreksi 1,464. Hasil menunjukkan seluruh simpangan antar lantai arah X memenuhi batas izin, namun lantai 3 arah Y melampaui batas (32,045 mm > 30,769 mm). Efek P-Delta dapat diabaikan dan prinsip *Strong Column Weak Beam* terpenuhi. Balok memerlukan tambahan tulangan torsi, sedangkan ketiga tipe kolom memenuhi lentur namun tulangan transversalnya belum memenuhi syarat kekangan. Pelat lantai, pondasi sumuran, dan kuda-kuda baja ringan dinyatakan aman.

Kata kunci: Analisis struktur; Respons spektrum; Sistem ganda; Simpangan antar lantai; Pondasi sumuran.

*Penulis Korespondensi : budiprashter@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Sumatera Barat dikenal sebagai daerah yang banyak melahirkan tokoh intelektual bangsa, tradisi yang didukung oleh sarana pengetahuan seperti perpustakaan. Perpustakaan modern kini dipahami sebagai ruang belajar kolaboratif dan pusat akses informasi yang menuntut kenyamanan, keamanan, dan aksesibilitas fasilitas. Gedung Perpustakaan Umum Kota Bukittinggi dibangun untuk melengkapi Perpustakaan Proklamator Muhammad Hatta, namun pembangunannya menjadi sorotan publik karena dugaan ketidaksesuaian pelaksanaan struktur, mulai dari kualitas material hingga keandalan struktur. Persoalan ini krusial karena gedung tersebut merupakan fasilitas publik yang menampung banyak pengguna dan beban koleksi besar di wilayah dengan kerawanan gempa tinggi.

Penelitian terdahulu telah memverifikasi struktur bangunan publik dan bertingkat terhadap beban gempa. Adilah et al. (2026) menekankan kontrol simpangan antar lantai pada gedung perpustakaan di Kota Sungai Penuh, Amalia et al. (2024) mengkaji pengaruh penempatan dinding geser terhadap kekakuan struktur, dan Marzuki dan Rajatman (2024) merancang struktur beton bertulang sistem ganda untuk gedung pendidikan bertingkat. Namun, penelitian tersebut umumnya mengandalkan keluaran program tanpa verifikasi eksplisit terhadap kontrol pembagian gaya lateral sistem ganda dan penskalaan gaya geser dasar dinamis. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini adalah verifikasi independen terhadap kedua tahapan tersebut pada struktur atas (pelat, balok, kolom) dan struktur bawah (pondasi) menggunakan ETABS v.22 dengan acuan SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, dan SNI 1727:2020. Penelitian bertujuan (1) menganalisis kecukupan parameter gempa dan sistem struktur; (2) mengevaluasi kontrol simpangan antar lantai, efek P-Delta, dan prinsip *Strong Column Weak Beam*; serta (3) mengevaluasi kapasitas penulangan balok, kolom, pelat lantai, dan pondasi sumuran.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berlokasi di Jl. Panorama No. 36, Kelurahan Kayu Kubu, Kecamatan Guguk Panjang, Kota Bukittinggi, Sumatera Barat, pada koordinat $0^{\circ}18'21,4''$ LS dan $100^{\circ}21'57,8''$ BT (Gambar 1).



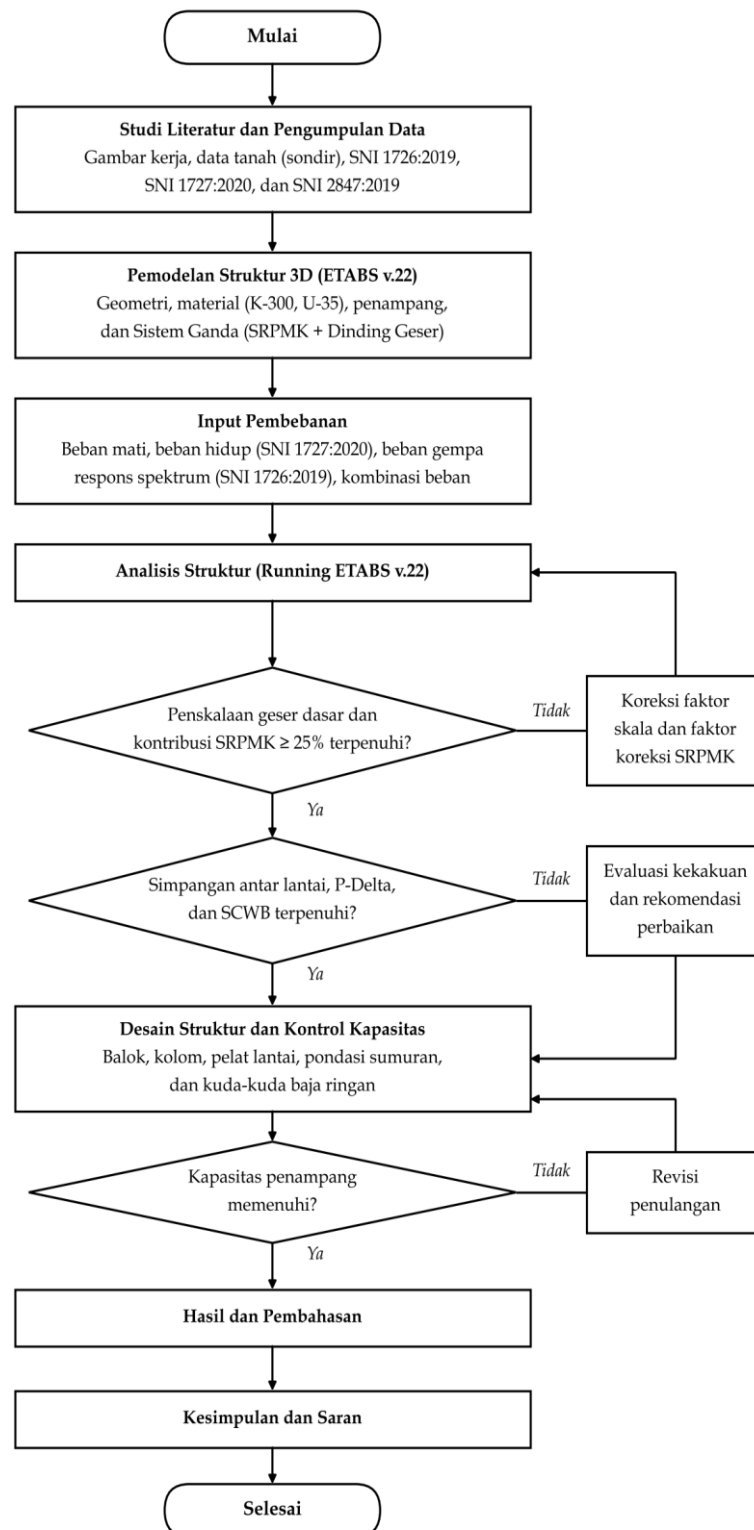
Gambar 1: Lokasi Penelitian

Objek penelitian adalah gedung tiga lantai dengan luas tanah 1.987 m², luas lantai 1 dan 2 masing-masing 610 m², serta luas lantai 3 sebesar 387 m², menggunakan beton bertulang mutu K-300 ($f'_c = 24,9$ MPa) dengan tulangan BJTD 350 ($f_y = 350$ MPa). Rencana tampak depan pada Gambar 2 menjadi acuan geometri denah dan grid kolom dalam pemodelan ETABS v.22.



Gambar 2: Rencana Tampak Depan Bangunan

Data penelitian terdiri atas data primer berupa data bangunan dan hasil survei lapangan, serta data sekunder berupa SNI yang berlaku dan gambar kerja perencanaan. Analisis bersifat kuantitatif dengan tahapan: (1) pengumpulan data melalui konsultan pengawas; (2) pemodelan struktur tiga dimensi pada ETABS v.22 (geometri, material, penampang, beban gravitasi, beban gempa respons spektrum, dan kombinasi pembebanan); (3) penyajian hasil analisis dalam bentuk tabel dan grafik; serta (4) perhitungan manual sebagai pembanding hasil program, mengacu pada SNI 1726:2019 (beban gempa), SNI 1727:2020 (beban mati dan hidup), dan SNI 2847:2019 (beton struktural). Instrumen penelitian meliputi ETABS v.22, data properti material, dan lembar kerja Microsoft Excel untuk verifikasi kapasitas penampang. Tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.

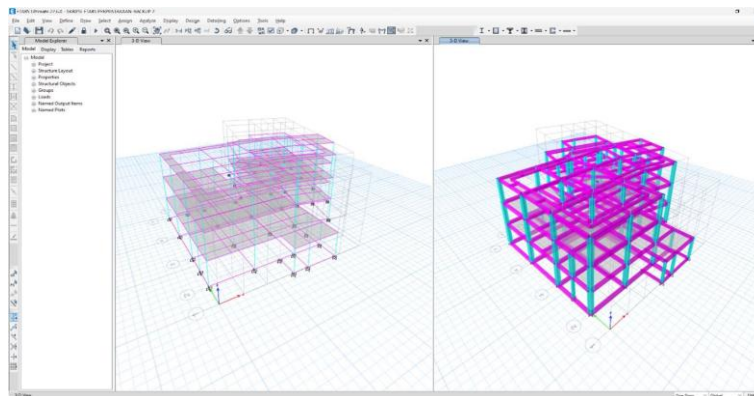


Gambar 3: Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Struktur

Struktur dimodelkan tiga dimensi pada ETABS v.22 dengan mendefinisikan grid, material, penampang, beban gravitasi dan gempa, *mass source*, respons spektrum, serta kombinasi pembebanan sesuai SNI (Gambar 4). Denah gedung tidak simetris dengan orientasi grid berbeda antar zona, terdiri atas balok, kolom, pelat lantai, dan dinding geser sebagai Sistem Ganda; ketidakberaturan ini berkontribusi pada perbedaan kekakuan arah X dan Y yang dibahas pada subbab berikutnya.



Gambar 4: Model Tiga Dimensi Struktur Gedung Perpustakaan Umum Kota Bukittinggi

3.2 Parameter Gempa dan Sistem Struktur

Parameter gempa ditentukan berdasarkan lokasi Kota Bukittinggi mengacu Peta Gempa 2019 (PUSGEN-PUSKIM PUPR) dan jenis tanah SD (Tanah Sedang) hasil uji sondir. Rekapitulasi parameter pemodelan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1: Rekapitulasi Parameter Pemodelan Struktur

Parameter	Keterangan
Perangkat lunak	ETABS v.22
Sistem struktur	Sistem Ganda (SRPMK + Dinding Geser Beton Bertulang Khusus)
Jumlah lantai	3 lantai
Mutu beton	K-300 ($f'_c = 24,9$ MPa)
Mutu baja tulangan	U-35 ($f_y = 350$ MPa)
Kategori risiko	Kategori IV (fasilitas publik)
Parameter gempa S_s	1,836 g
Parameter gempa S_1	0,732 g
Kategori Desain Seismik	KDS D
Koefisien modifikasi respons (R)	7,0
Faktor amplifikasi defleksi (C_d)	6,5
Faktor keutamaan gempa (I_e)	1,5

Berdasarkan $S_{DS} = 1,224$ g dan $S_{D1} = 0,830$ g, gedung Kategori Risiko IV ini termasuk Kategori Desain Seismik D sehingga menggunakan Sistem Ganda sesuai SNI 1726:2019 Tabel 12. Koefisien $R = 7,0$ (dikoreksi dari 7,5 yang berlaku untuk Sistem Ganda dengan SRPMK penuh) sejalan dengan Marzuki dan Rajatman (2024) yang menekankan kesesuaian nilai R terhadap konfigurasi rangka pemikul momen aktual.

3.3 Penskalaan Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, gaya geser dasar dinamis (V_t) tidak boleh kurang dari 100% gaya geser statik ekuivalen (V). Perhitungan manual menghasilkan gaya geser dasar statik 2.502,91 kN untuk arah X dan Y, sedangkan analisis awal ETABS v.22 pada faktor skala 2.101,43 mm/s² hanya menghasilkan 1.377,04 kN (arah X) dan 1.335,47 kN (arah Y) sehingga tidak memenuhi syarat. Faktor skala dikoreksi menjadi 3.819,54 mm/s² untuk arah X (pengali 1,818) dan 3.938,43 mm/s² untuk arah Y (pengali 1,874). Tanpa koreksi ini, gaya dalam pada desain penampang akan *under-estimate* terhadap gempa rencana.

3.4 Kontrol Pembagian Gaya Lateral Sistem Ganda

Sistem Ganda mensyaratkan kontribusi rangka minimal 25% dari gaya lateral. Kontribusi awal SRPMK arah X memenuhi (26,70%), sedangkan arah Y hanya 17,08% sehingga belum memenuhi. Temuan ini merupakan kontribusi utama penelitian karena tidak tampak diverifikasi pada data perencanaan. Sebagai koreksi, gaya dalam SRPMK arah Y dikalikan faktor tambahan 1,464 agar kontribusi rangka memenuhi syarat. Hasil ini sejalan dengan Amalia et al. (2024) bahwa penempatan dan proporsi dinding geser memengaruhi distribusi gaya lateral antar arah, sehingga kontribusi rangka tidak dapat diasumsikan seragam.

3.5 Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Simpangan antar lantai dikontrol untuk membatasi kerusakan elemen non-struktural dan menjaga stabilitas sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 (Tabel 2). Seluruh tingkat arah X memenuhi batas izin ($\Delta_{ijin} = 30,769$ mm). Pada arah Y, lantai 1 dan 2 memenuhi, namun lantai 3 sebesar 32,045 mm melampaui batas izin (TIDAK OK). Kondisi ini konsisten dengan rendahnya kontribusi SRPMK arah Y pada Subbab 3.4 dan menunjukkan perlunya penguatan kekakuan arah Y, khususnya dinding geser di lantai atas, sebagaimana juga direkomendasikan Adilah et al. (2026).

Tabel 2: Rekapitulasi Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Lantai	δ_{eX} (mm)	δ_{eY} (mm)	Δ_X (mm)	Δ_Y (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Cek X	Cek Y
1	1,792	1,136	7,765	4,923	30,769	OK	OK
2	3,793	2,213	16,436	9,590	30,769	OK	OK
3	7,021	7,395	30,424	32,045	30,769	OK	TIDAK OK

3.6 Kontrol Efek P-Delta

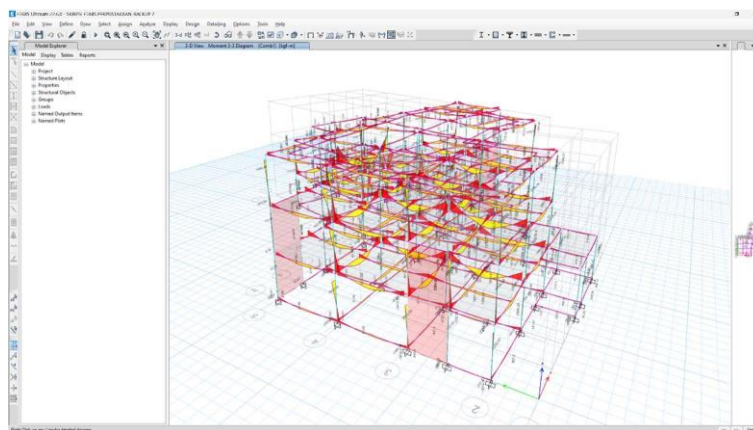
Kontrol P-Delta menentukan perlu tidaknya pembesaran gaya dalam akibat efek orde kedua (Tabel 3). Koefisien stabilitas (θ) tertinggi sebesar 0,00267 (lantai 2 arah X) jauh di bawah batas $\theta_{maks} = 0,0769$ pada seluruh tingkat dan kedua arah, sehingga efek P-Delta dapat diabaikan.

Tabel 3: Rekapitulasi Kontrol Stabilitas P-Delta

Lantai	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	θ_x	θ_y	θ_{maks}	Status
1	7,765	4,923	0,00221	0,00140	0,0769	OK
2	16,436	9,590	0,00267	0,00161	0,0769	OK
3	30,424	32,045	0,00256	0,00253	0,0769	OK

3.7 Pemenuhan Prinsip *Strong Column Weak Beam* (SCWB)

Pada seluruh hubungan balok-kolom, jumlah kekuatan lentur nominal kolom (ΣM_{nc}) melampaui 1,2 kali jumlah kekuatan lentur nominal balok (ΣM_{nb}) pada setiap *joint* kritis, sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, sehingga prinsip SCWB terpenuhi. Diagram momen lentur pada Gambar 5 menunjukkan momen negatif terbesar terkonsentrasi di tumpuan balok lantai bawah, konsisten dengan pola sendi plastis yang diharapkan terbentuk pada balok sebelum kolom saat gempa kuat.



Sumber: Output ETABS v.22

Gambar 5: Diagram Momen Lentur (M3-3) Struktur Gedung

3.8 Penulangan Balok

Balok tipe B2 (300×500 mm) memenuhi kapasitas lentur pada seluruh penampang kritis. Pengecekan torsi menunjukkan $T_u = 14,05$ kN-m melampaui $\phi T_{cr}/4 = 4,35$ kN-m sehingga diperlukan tulangan torsi tambahan; sengkang tumpuan diperbesar dari 2D10-100 menjadi 3D10-100. Tabel 4 menunjukkan seluruh tinjauan pada tumpuan dan lapangan memenuhi syarat setelah revisi, dengan detail penulangan pada Gambar 6 (tulangan atas 6D19 dan bawah 4D19 di tumpuan, selimut beton 40 mm).

Tabel 4: Rekapitulasi Kapasitas Balok Tipe B2 (30×50)

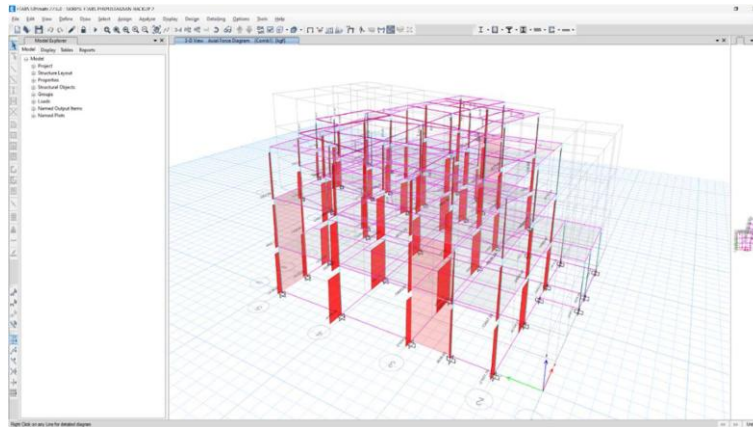
No.	Tinjauan	Kapasitas	Kebutuhan	Status
1	Lentur tumpuan (-)	$\phi M_n = 211,03 \text{ kN-m}$	$M_u = 88,39 \text{ kN-m}$	OK
2	Lentur lapangan (+)	$\phi M_n = 211,03 \text{ kN-m}$	$M_u = 40,55 \text{ kN-m}$	OK
3	Geser tumpuan (3D10-100)	$\phi V_n = 290,61 \text{ kN}$	$V_u = 126,97 \text{ kN}$	OK
4	Geser lapangan (2D10-150)	$\phi V_n = 241,49 \text{ kN}$	$V_u = 42,40 \text{ kN}$	OK
5	Torsi ($T_u > \phi T_{cr}/4$)	$\phi T_{cr}/4 = 4,35 \text{ kN-m}$	$T_u = 14,05 \text{ kN-m}$	Perlu tulangan torsi
6	Kombinasi geser + torsi	$(A_{v+t})/s = 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm}$	perlu $2,287 \text{ mm}^2/\text{mm}$	OK

TABEL PENULANGAN BALOK			
TYPE	B2 (300×500)		
CATATAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KNN
POTONGAN			
TUL. ATAS	6 D 19	3 D 19	6 D 19
TUL. BAWAH	4 D 19	6 D 19	4 D 19
SENGKANG	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-100
TUL. PINGGANG	4 D 12	4 D 12	4 D 12
SELIMUT BETON	40 mm		

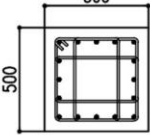
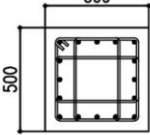
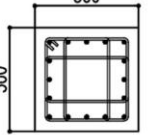
Gambar 6: Detail Penulangan Balok Tipe B2 (300×500 mm)

3.9 Penulangan Kolom

Analisis kolom tiga tipe (50×50, 45×45, dan 45×60) dengan diagram interaksi P-M menunjukkan seluruh kolom memenuhi syarat gaya, geometri, dan prinsip SCWB. Gaya aksial terbesar terjadi pada kolom lantai dasar akibat akumulasi beban gravitasi (Gambar 7). Namun, tulangan transversal terpasang (4D10-125 pada zona sendi plastis dan 4D10-150 di luar zona sendi plastis; Gambar 8) lebih renggang dari spasi maksimum dan belum memenuhi syarat kekangan inti beton SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5, sehingga kapasitas geser ketiga tipe kolom dinyatakan tidak memenuhi syarat (Tabel 5).



Gambar 7: Diagram Gaya Aksial pada Kolom Struktur

1/4H	1/2H	1/4H
 TUL.UTAMA 16 D19 SELIMUT BETON 40 MM SENGKANG Ø10-125	 TUL.UTAMA 16 D19 SELIMUT BETON 40 MM SENGKANG Ø10-150	 TUL.UTAMA 16 D19 SELIMUT BETON 40 MM SENGKANG Ø10-125

Gambar 8: Detail Penulangan Kolom 50×50 pada Zona 1/4H, 1/2H, dan 1/4H

Tabel 5: Rekapitulasi Hasil Analisis Penulangan Kolom

Aspek Pengecekan	Kolom 50×50	Kolom 45×45	Kolom 45×60
Syarat gaya dan geometri	OK	OK	OK
Kapasitas lentur (SCWB)	OK	OK	OK
Kapasitas geser (kekangan dan spasi)	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK
Tulangan longitudinal	16D19	12D19	16D19
Tulangan transversal tumpuan	4D10-125 (belum memenuhi)	4D10-125 (belum memenuhi)	4D10-125 (belum memenuhi)
Tulangan transversal lapangan	4D10-150 (belum memenuhi)	4D10-150 (belum memenuhi)	4D10-150 (belum memenuhi)

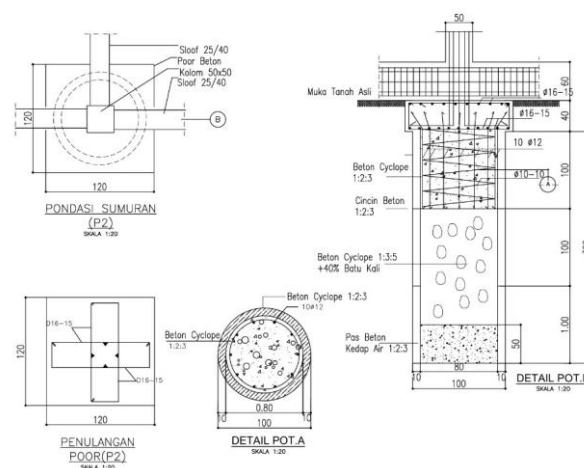
Ketiga tipe kolom memerlukan perapatan spasi tulangan transversal pada zona sendi plastis agar daktilitas Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus terjaga. Temuan ini menegaskan pentingnya verifikasi detail penulangan, tidak hanya kapasitas lentur, sebagaimana ditekankan Hasibuan et al. (2022).

3.10 Penulangan Pelat Lantai dan Pondasi Sumuran

Pelat lantai bentang 6.000×6.000 mm setebal 120 mm memenuhi kapasitas lentur arah sumbu 1 dan 2 serta kapasitas geser dengan tulangan tunggal D10-125 tanpa tulangan geser tambahan. Pondasi sumuran berdiameter 100 cm dengan kedalaman 3,0 m memenuhi daya dukung vertikal, daya dukung lateral, dan penurunan (Tabel 6). Detail pondasi pada Gambar 9 terdiri atas poer 120×120 cm, cincin beton dan beton *cyclope* 1:2:3, tulangan cincin Ø10-10, dan angkur kolom Ø16-15 yang menopang kolom 50×50 melalui sloof 25/40. Beban aktual jauh di bawah kapasitas izin sehingga pondasi dinyatakan aman, sejalan dengan Leon et al. (2023) yang menekankan verifikasi daya dukung dan penurunan pondasi secara terpisah.

Tabel 6: Rekapitulasi Kontrol Pondasi Sumuran

No.	Kontrol	Kapasitas Izin	Beban Aktual	Status
1	Daya dukung vertikal	$P_{\text{net}} = 139,61 \text{ ton}$	$P_{\text{total}} = 113,88 \text{ ton}$	OK
2	Daya dukung lateral	$H_{\text{ijin}} = 250,94 \text{ kN}$	$H_{\text{lat}} = 69,01 \text{ kN}$	OK
3	Penurunan pondasi	$S_{\text{izin}} = 15 \text{ cm}$	$S_t = 4,8 \text{ cm}$	OK



Gambar 9: Detail Penulangan Pondasi Sumuran (P2)

3.11 Analisis Kuda-Kuda Baja Ringan

Kuda-kuda baja ringan profil C 75×35×0,75 dengan reng U 75×40×0,55, baik pada lantai 3 (bentang 9,75 m) maupun atap lantai 2 (bentang 18,00 m), memiliki rasio tegangan seluruh batang di bawah 1,00 dengan reaksi tumpuan maksimum masing-masing 1,20 ton dan 7,20 ton. Kuat sambungan baut dan baut angkur memenuhi syarat kuat geser, kuat tumpu, dan panjang penyaluran minimum sesuai AISC LRFD 1993 sehingga kuda-kuda dinyatakan aman.

4. KESIMPULAN

Verifikasi independen struktur Gedung Perpustakaan Umum Kota Bukittinggi menggunakan ETABS v.22 berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 1727:2020 mengungkap dua temuan utama yang belum tampak diperiksa pada data perencana, yaitu kontribusi awal SRPMK arah Y hanya 17,08% (memerlukan faktor koreksi 1,464) dan kebutuhan penskalaan gaya geser dasar dinamis dari 2.101 mm/s² menjadi 3.819,54 mm/s² (arah X) dan 3.938,43 mm/s² (arah Y). Struktur secara umum memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas, kecuali simpangan antar lantai arah Y lantai 3 yang melampaui batas izin (32,045 mm > 30,769 mm) dan tulangan transversal ketiga tipe kolom yang belum memenuhi syarat kekangan inti beton SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5. Efek P-Delta dapat diabaikan, prinsip *Strong Column Weak Beam* terpenuhi, balok memerlukan tambahan tulangan torsi di tumpuan, sedangkan pelat lantai, pondasi sumuran, dan kuda-kuda baja ringan dinyatakan aman.

Dibandingkan penelitian terdahulu yang umumnya berhenti pada kontrol simpangan dan kapasitas lentur (Adilah et al., 2026; Marzuki & Rajatman, 2024), penelitian ini mengungkap kelemahan pada kontrol pembagian gaya lateral sistem ganda dan *detailing* tulangan transversal kolom yang berpotensi luput bila hanya mengandalkan keluaran program, sehingga dapat menjadi rujukan objektif terkait isu ketidaksesuaian pelaksanaan struktur pada proyek ini. Studi ini terbatas pada satu bangunan dan data tanah uji sondir (CPT) tanpa *boring log*. Penelitian lanjutan disarankan meninjau penambahan kekakuan arah Y (misalnya dimensi atau jumlah dinding geser), perapatan sengkang kolom pada zona sendi plastis, pelengkapan data tanah, dan analisis riwayat waktu (*time history*).

5. REFERENSI

- Adilah, A. N., et al. (2026). Analisis struktur gedung perpustakaan terhadap gaya gempa di Kota Sungai Penuh. *Jurnal Talenta Sipil*, 9(1), 707–716. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v9i1.1179>
- Amalia. (2020). *Perancangan kolom & pondasi beton bertulang untuk bangunan gedung*. PNJ Press.
- Amalia, M., et al. (2024). Pengaruh variasi penempatan dinding geser akibat beban gempa pada struktur gedung bertingkat. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(8), 125–132. <https://doi.org/10.59435/gjmi.v2i8.799>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 – Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 – Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 – Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.
- Computers and Structures, Inc. (CSI). (2022). *ETABS v.22 – Integrated building design software*. CSI. <https://www.csiamerica.com/products/etabs>

- Hasibuan, S. A. R. S., et al. (2022). Kontribusi drop panel pada struktur gedung tipe flat slab. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 6(2). <https://doi.org/10.31289/jcebt.v6i2.7811>
- IFLA. (2022). *IFLA public library service guidelines*. International Federation of Library Associations and Institutions. <https://www.ifla.org/publications/node/951212>
- Leon, S., et al. (2023). Shallow foundation analysis of a two-story house on a former paddy field. *International Journal of Application on Sciences, Technology and Engineering*, 1(3), 1200–1209. <https://doi.org/10.24912/ijaste.v1.i3.1200-1209>
- Marzuki, A., & Rajatman, B. (2024). Perancangan struktur beton bertulang tahan gempa gedung fasilitas pendidikan 11 lantai. *Jurnal Ilmiah Sultan Agung (JIMU)*, 49–57. <https://jurnal.unissula.ac.id/index.php/JIMU/article/view/40206>
- Perpustakaan Nasional Republik Indonesia. (2024). *Pedoman layanan perpustakaan umum*. Perpustakaan RI. <https://www.perpusnas.go.id>
- Timoshenko, S. P., & Goodier, J. N. (1970). *Theory of elasticity* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Yatnikasari, S., et al. (2022). Perencanaan ulang pondasi tiang pancang pada bangunan gedung *control room* di Kalimantan Timur. *Rang Teknik Journal*, 5(2). <https://doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3019>