



PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PARKIR PUSAT PERBELANJAAN BERDASARKAN PETA GEMPA 2024

(Studi Kasus: Pasar Pusat Kota Padang Panjang)

Nur Zahra Zahira¹, Fajri Yusmar²

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: nurzahrazahira02@gmail.com

Abstract: The persistent parking deficit around Pasar Pusat, Padang Panjang, combined with the release of the updated 2024 Indonesia Earthquake Source and Hazard Map, motivates a fresh structural design for a three-storey steel parking building using the Special Moment Resisting Frame (SRPMK) system. Compared to the 2017 map underlying SNI 1726:2019, the 2024 map raises the short-period spectral acceleration (S_s) by 8.15% and, more critically, the 1-second spectral acceleration (S_1) by 72.81% at the study site, which in turn lifts the design parameter SD_1 from 0.79 g to 1.36 g. Site conditions were classified as Site Class SD (medium soil) based on available N-SPT data ($N = 16.5$ at a depth of approximately 6.00 m). Structural modeling and response spectrum analysis were performed in ETABS v22, followed by capacity checks of beam and column elements under SNI 1729:2020. The results show a fundamental period of 0.7328 s (X) and 0.3738 s (Y), a base shear ratio between dynamic and static analysis of 99.99% on both axes, modal mass participation exceeding 90% by the 4th (X) and 5th (Y) modes, a maximum inter-story drift of 9.03 mm (allowable 72 mm), a maximum P-Delta stability coefficient of 0.001368 (limit 0.0625), and a maximum torsional amplification factor of 1.0128 (limit 1.2). Capacity checks confirm all beam and column elements remain within safe demand-to-capacity ratios, with the highest beam ratio at 0.907 and the highest column P-M interaction ratio at 0.558. These findings confirm that the proposed steel structure is both dynamically stable and structurally adequate under the updated 2024 seismic hazard parameters.

Keywords: Multi-Storey Parking Building, Steel Structure, SRPMK, 2024 Earthquake Map, Site Class, Beam-Column Capacity Check

Abstrak: Defisit kapasitas parkir yang terus berlangsung di kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang, ditambah terbitnya pembaruan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024, mendorong perlunya perencanaan struktur gedung parkir tiga lantai berbasis baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dibandingkan Peta Gempa 2017 yang menjadi dasar SNI 1726:2019, Peta Gempa 2024 menaikkan nilai percepatan spektral periode pendek (S_s) sebesar 8,15% dan, yang lebih signifikan, percepatan spektral periode 1 detik (S_1) sebesar 72,81% pada lokasi penelitian, yang selanjutnya menaikkan parameter desain SD_1 dari 0,79 g menjadi 1,36 g. Kondisi tanah diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SD (tanah sedang) berdasarkan data N-SPT yang tersedia ($N = 16,5$ pada kedalaman sekitar 6,00 m). Pemodelan struktur dan analisis respons spektrum dilakukan menggunakan ETABS v22, dilanjutkan dengan pemeriksaan kapasitas elemen balok dan kolom berdasarkan SNI 1729:2020. Hasil penelitian menunjukkan periode fundamental sebesar 0,7328 detik (arah X) dan 0,3738 detik (arah Y), rasio gaya geser dasar dinamik terhadap statik

Article History

Received: Agustus 2026

Reviewed: Agustus 2026

Published: Agustus 2026

Plagiarism Checker

No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

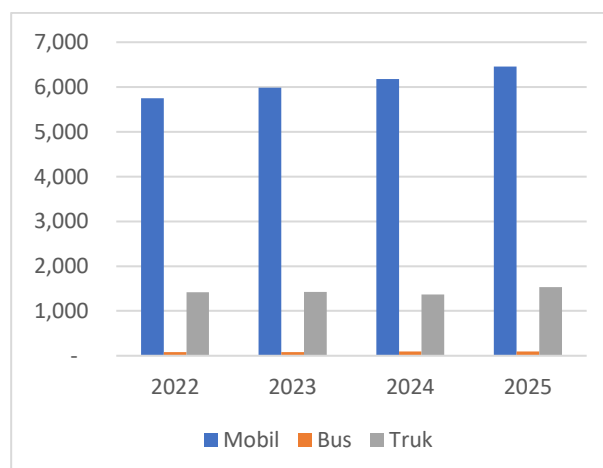
sebesar 99,99% pada kedua arah, partisipasi massa ragam kumulatif yang telah melampaui 90% pada ragam ke-4 (arah X) dan ke-5 (arah Y), simpangan antar tingkat maksimum sebesar 9,03 mm (izin 72 mm), koefisien stabilitas P-Delta maksimum sebesar 0,001368 (batas 0,0625), serta faktor pembesaran torsi maksimum sebesar 1,0128 (batas 1,2). Pemeriksaan kapasitas menunjukkan seluruh elemen balok dan kolom berada dalam rasio kebutuhan terhadap kapasitas yang aman, dengan rasio balok tertinggi 0,907 dan rasio interaksi P-M kolom tertinggi 0,558. Temuan ini menegaskan bahwa struktur baja yang direncanakan stabil secara dinamik sekaligus memenuhi persyaratan kekuatan struktural berdasarkan parameter bahaya gempa terbaru Tahun 2024.

Kata kunci: Gedung Parkir Bertingkat, Struktur Baja, SRPMK, Peta Gempa 2024, Kelas Situs, Pemeriksaan Kapasitas Balok-Kolom

PENDAHULUAN

Laju urbanisasi yang berlangsung cepat di berbagai kota Indonesia menambah tekanan terhadap kebutuhan ruang parkir di kawasan perkotaan. Pertambahan kepemilikan kendaraan pribadi yang tidak diimbangi dengan penyediaan lahan parkir yang memadai sering kali berujung pada pemanfaatan badan jalan sebagai tempat parkir, yang pada gilirannya mengganggu kelancaran arus transportasi kota. Kondisi ini memperlihatkan bahwa isu parkir bukan semata soal kenyamanan pengendara, melainkan juga bagian dari persoalan penataan ruang dan pelayanan transportasi perkotaan secara keseluruhan (Mardiansjah & Rahayu, 2019).

Kondisi serupa juga dijumpai di Kota Padang Panjang. Merujuk data Badan Pusat Statistik Kota Padang Panjang (2025), populasi mobil penumpang bertambah dari 5.751 unit pada 2022 menjadi 6.454 unit pada 2025. Kenaikan ini mengindikasikan tumbuhnya kebutuhan ruang untuk kendaraan, terutama di kawasan dengan intensitas perdagangan tinggi. Walaupun jumlah kendaraan di Padang Panjang relatif kecil bila disandingkan dengan skala nasional, kebutuhan ruang parkirnya tetap tidak bisa diabaikan karena setiap unit kendaraan membutuhkan ruang untuk berhenti maupun bermanuver. Tren pertumbuhan kendaraan bermotor di Kota Padang Panjang periode 2022-2025 diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pertumbuhan Mobil Penumpang Dibandingkan Kendaraan Lain di Kota Padang Panjang Tahun 2022-2025
(Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Padang Panjang, 2026)

Tekanan kebutuhan parkir paling terasa di kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang, yang berfungsi ganda sebagai sentra perdagangan sekaligus titik kumpul aktivitas warga. Zayau

dan Vitri (2019) merekam kondisi parkir di kawasan tersebut pada hari puncak (Jumat): indeks parkir sepeda motor sudah melampaui kapasitas hingga 251,79%, sedangkan indeks parkir mobil berada pada 95,96%, nyaris jenuh sepenuhnya. Dari sisi proyeksi kebutuhan pada jam puncak, masih terdapat kekurangan sekitar 74 satuan ruang parkir (SRP) untuk mobil dibandingkan kapasitas badan jalan yang tersedia.

Table 1. Ringkasan Kondisi Parkir Eksisting Pasar Pusat Kota Padang Panjang (Hari Puncak/Jumat)

Parameter	Sepeda Motor	Mobil Penumpang
Volume kendaraan masuk (harian)	21.962 kendaraan*	
Volume kendaraan keluar (harian)	19.785 kendaraan*	
Volume parkir badan jalan (jam puncak)	1.786 unit (09.00-10.00)	257 unit (14.00-15.00)
Akumulasi parkir tertinggi	1.896 unit (16.00-16.15)	95 unit (17.00-17.15)
Ketersediaan lahan parkir (badan jalan)	502 SRP	99 SRP
Kebutuhan lahan parkir (jam puncak)	1.644 SRP	173 SRP
Kekurangan lahan parkir	1.142 SRP	74 SRP
Indeks parkir	251,79%	95,96%

(Sumber: diolah dari Zayu & Vitri, 2019).

*Data volume kendaraan masuk dan keluar pada sumber asli tidak dipisahkan per jenis kendaraan sehingga disajikan sebagai angka gabungan pada tabel.

Terbatasnya lahan di pusat kota membuat penambahan kapasitas parkir secara horizontal sulit diandalkan lagi. Salah satu jalan keluar yang lebih realistis adalah membangun gedung parkir bertingkat yang memanfaatkan ruang secara vertikal, sehingga kapasitas parkir bisa ditingkatkan tanpa memperluas jejak bangunan secara berarti. Perencanaannya menuntut ruang yang cukup untuk sirkulasi kendaraan sekaligus kemampuan menahan beban gravitasi, beban kendaraan, dan beban lateral akibat angin maupun gempa. Struktur baja menjadi pilihan yang cocok karena rasio kekuatan terhadap beratnya tergolong tinggi, sehingga bentang yang relatif panjang dapat dicapai dengan jumlah kolom yang lebih sedikit. Di samping itu, sifat daktil material baja memberi keuntungan tersendiri dalam menghadapi beban gempa karena struktur mampu berdeformasi secara inelastis sembari mendisipasikan energi gempa (Salmon et al., 2009; Flynn & Astaneh-Asl, 2001).

Akan tetapi, perencanaan gedung parkir di Kota Padang Panjang tidak cukup hanya mempertimbangkan kebutuhan ruang dan kapasitas struktur, tetapi juga kondisi kegempaan setempat. Sumatera Barat termasuk wilayah dengan potensi bahaya gempa yang tidak kecil, sehingga aspek ketahanan gempa menjadi bagian yang tidak bisa dilepaskan dari perencanaan struktur. Perkembangan informasi sumber dan bahaya gempa ditandai dengan terbitnya pembaruan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024 oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). Pada peta terbaru ini, jumlah sesar aktif yang teridentifikasi bertambah dari 273 menjadi 401 secara nasional, dan dari 56 menjadi 86 khusus di wilayah Sumatera (PuSGeN, 2024). Pembaruan tersebut menegaskan bahwa perkembangan data sumber gempa mesti diikuti dengan penyesuaian parameter kegempaan yang dipakai dalam perencanaan struktur.

Peta Gempa 2024 dipilih dalam penelitian ini bukan sekadar karena statusnya sebagai data terbaru, melainkan karena adanya perubahan nyata pada nilai parameter kegempaan di lokasi penelitian dibandingkan parameter yang dipakai sebelumnya. Berdasarkan data yang digunakan, nilai percepatan spektral periode pendek (S_s) naik dari 1,8492 g pada Peta Gempa 2017 menjadi 2,00 g pada Peta Gempa 2024, sementara percepatan spektral periode 1 detik

(S1) naik dari 0,6944 g menjadi 1,20 g — masing-masing setara kenaikan 8,15% untuk Ss dan 72,81% untuk S1. Setelah memperhitungkan kondisi situs, perubahan ini turut mengerek parameter desain, terutama SD1, dari 0,79 g menjadi 1,36 g. Perbandingan lengkap parameter kegempaan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Table 2. Perbandingan Parameter Kegempaan Peta Gempa 2017 dan 2024

Parameter	Peta 2017	Peta 2024	Perubahan
Ss (g)	1,8492	2,0000	+8,15%
S1 (g)	0,6944	1,2000	+72,81%
Fa	1,00	1,00	0,00%
Fv	1,70	1,70	0,00%
SMS (g)	1,8492	2,0000	+8,15%
SM1 (g)	1,18048	2,0400	+72,81%
SDS (g)	1,23	1,33	+8,13%
SD1 (g)	0,79	1,36	+72,15%

(Sumber: diolah dari Peta Gempa Indonesia 2017 dan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2024, 2026)

Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa perubahan parameter kegempaan tidak hanya terjadi pada nilai Ss, tetapi lebih signifikan pada parameter S1. Nilai S1 yang meningkat sebesar 72,81% menunjukkan adanya perubahan tuntutan spektral pada periode 1 detik yang selanjutnya memengaruhi parameter SM1 dan SD1. Dengan demikian, penggunaan parameter dari peta sebelumnya dapat menghasilkan tuntutan desain yang berbeda dibandingkan penggunaan parameter Peta Gempa 2024. Oleh karena itu, Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2024 digunakan sebagai dasar penentuan parameter kegempaan dalam penelitian ini, sehingga perencanaan struktur gedung parkir didasarkan pada informasi bahaya gempa yang lebih mutakhir.

Dalam penelitian ini, klasifikasi kelas situs ditetapkan sebagai Kelas Situs SD (tanah sedang) berdasarkan nilai N-SPT yang tersedia. Klasifikasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan koefisien situs Fa dan Fv, sehingga parameter Ss dan S1 dari Peta Gempa 2024 dapat dikonversi menjadi parameter spektral yang digunakan dalam perencanaan struktur. Selanjutnya, parameter tersebut digunakan dalam pembentukan spektrum respons desain dan analisis struktur berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan struktur gedung parkir tiga lantai berbasis baja di kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang dengan menggunakan parameter kegempaan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2024. Perencanaan dilakukan melalui penentuan pembebanan, klasifikasi kelas situs, penentuan parameter gempa, pemodelan struktur tiga dimensi, analisis statik dan dinamik respons spektrum menggunakan ETABS, serta perencanaan elemen struktur baja berdasarkan gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisis. Pemeriksaan meliputi kekuatan dan stabilitas elemen struktur sehingga diperoleh profil struktur yang memenuhi ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 1729:2020.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang, Sumatera Barat, dengan objek berupa perencanaan gedung parkir bertingkat. Gedung direncanakan terdiri atas tiga lantai dengan dimensi denah 50 m × 43 m, atau luas denah sebesar 2.150 m². Struktur direncanakan menggunakan konstruksi baja mutu BJ 41 dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Data penelitian meliputi kondisi kawasan, kebutuhan parkir, data penyelidikan

tanah yang tersedia, data geometrik dan material struktur, serta parameter kegempaan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024.

Table 3. Data Umum Perencanaan

Parameter	Spesifikasi
Fungsi bangunan	Gedung parkir
Lokasi	Kota Padang Panjang, Sumatera Barat
Dimensi denah	50 m × 43 m
Luas denah	2.150 m ²
Jumlah lantai	3 lantai
Luas total bangunan	6.450 m ²
Struktur	Konstruksi baja BJ 41
Sistem struktur	SRPMK

(Sumber: Olahan data perencanaan, 2026)

Lokasi penelitian berada di kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang yang merupakan kawasan perdagangan dengan aktivitas kendaraan yang tinggi.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian Rencana Gedung Parkir Bertingkat di Kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang
(Sumber: Google Earth, 2026)

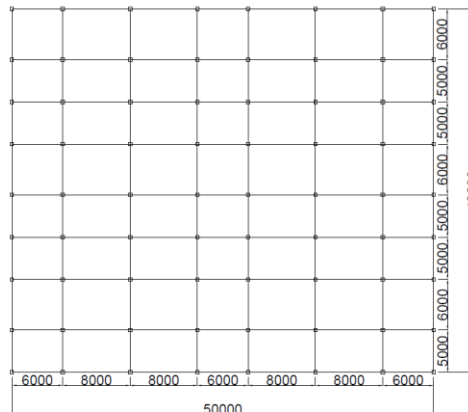
Penentuan kondisi tanah dilakukan berdasarkan data penyelidikan tanah yang tersedia. Nilai N-SPT sebesar 16,5 pada kedalaman sekitar $\pm 6,00$ m dari permukaan tanah asli digunakan sebagai dasar dalam penetapan kondisi situs. Dalam penelitian ini, kondisi tanah ditetapkan sebagai Kelas Situs SD (tanah sedang).

Parameter kegempaan lokasi penelitian mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024. Nilai S_s dan S_1 yang telah disajikan pada bagian Pendahuluan digunakan sebagai parameter awal dalam penentuan beban gempa. Berdasarkan Kelas Situs SD, parameter tersebut dikoreksi menggunakan koefisien situs F_a dan F_v untuk memperoleh parameter spektral desain SDS dan SD1 sesuai SNI 1726:2019.

Tahap preliminary design dilakukan untuk menentukan konfigurasi awal struktur sebelum pemodelan dan analisis. Penentuan grid struktur mempertimbangkan dimensi bangunan, kebutuhan ruang parkir, pola sirkulasi kendaraan, posisi kolom, serta efisiensi bentang struktur baja. Berdasarkan pertimbangan tersebut, bentang awal struktur ditetapkan pada kisaran 6-8 m sebagai konfigurasi awal.

Selanjutnya ditentukan trial section untuk elemen balok dan kolom sebagai penampang awal pemodelan. Penampang tersebut dianalisis dan dievaluasi berdasarkan gaya dalam serta kapasitas elemen. Apabila penampang belum memenuhi persyaratan kekuatan atau stabilitas, ukuran penampang disesuaikan dan dilakukan analisis ulang secara iteratif hingga diperoleh profil yang memenuhi persyaratan perencanaan.

Pembebanan struktur meliputi beban mati, beban hidup, beban kendaraan/parkir, beban elemen nonstruktural, beban angin, dan beban gempa. Besaran dan kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan SNI 1727:2020, sedangkan pembebanan gempa ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan parameter kegempaan Peta Gempa 2024.



Gambar 3. Grid Awal Struktur
(Sumber: Dokumen Pribadi, Autocad v21,2026)

Pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi menggunakan ETABS v22. Model meliputi geometri bangunan, material, penampang elemen, kondisi perletakan, sistem lantai, sumber massa, pola pembebanan, load case, dan kombinasi pembebanan.

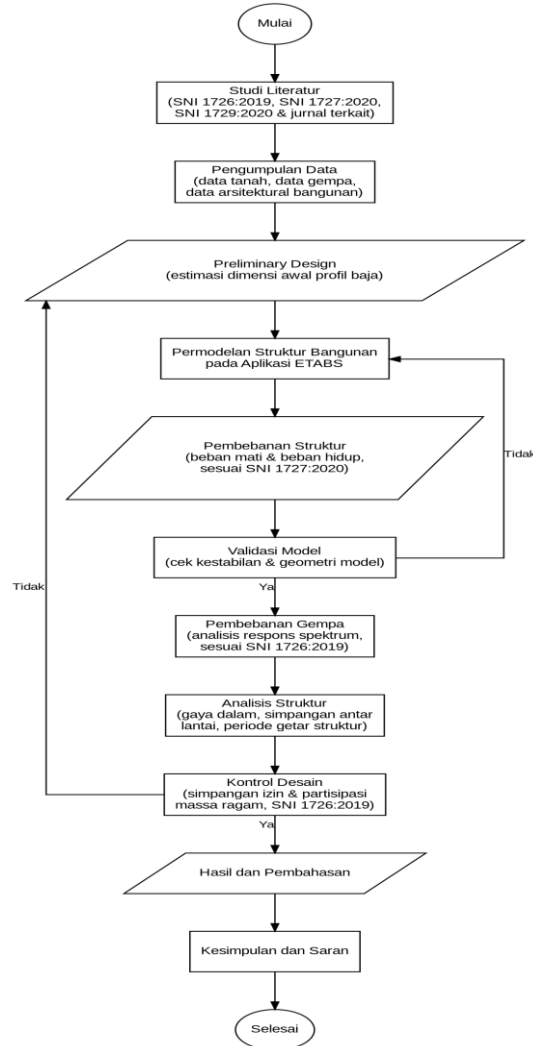
Analisis struktur dilakukan terhadap beban gravitasi dan beban gempa. Analisis statik digunakan untuk memperoleh respons struktur akibat pembebanan gravitasi, sedangkan analisis dinamik dilakukan menggunakan metode respons spektrum berdasarkan parameter kegempaan Peta Gempa 2024. Hasil analisis digunakan untuk memperoleh gaya dalam dan respons struktur sebagai dasar perencanaan elemen.

Evaluasi respons struktur meliputi periode fundamental, partisipasi massa ragam, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan pengaruh P-Delta. Gaya geser dasar hasil analisis respons spektrum dibandingkan dengan hasil analisis statik ekuivalen untuk memastikan hasil analisis gempa memenuhi ketentuan yang berlaku.

Gaya dalam hasil analisis dipakai sebagai dasar perencanaan elemen struktur baja berdasarkan SNI 1729:2020. Perencanaan difokuskan pada elemen balok dan kolom. Balok diperiksa terhadap kapasitas lentur, geser, dan stabilitas lateral (lateral torsional buckling/LTB), sedangkan kolom diperiksa terhadap gaya aksial, lentur, dan interaksi aksial-momen (P-M).

Hasil pemeriksaan dibandingkan dengan kapasitas desain masing-masing elemen untuk menentukan pemenuhan persyaratan kekuatan dan stabilitas. Pemilihan profil dilakukan secara iteratif melalui tahapan penampang awal → analisis → pemeriksaan kapasitas → penyesuaian penampang, hingga diperoleh profil akhir yang memenuhi persyaratan perencanaan. Desain sambungan tidak dibahas secara rinci dalam penelitian ini.

Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Preliminary Design dan Profil Penampang

Tahap preliminary design dilakukan dengan menetapkan konfigurasi grid dan bentang awal struktur pada kisaran 6-8 m berdasarkan dimensi bangunan, kebutuhan ruang parkir, pola sirkulasi kendaraan, dan efisiensi struktur baja. Profil awal (trial section) kemudian dimodelkan dalam ETABS dan dievaluasi berdasarkan hasil analisis struktur. Penyesuaian penampang dilakukan secara iteratif hingga diperoleh profil yang digunakan dalam model hasil perencanaan.

Table 4. Perbandingan Profil Awal dan Hasil Perencanaan

Elemen	Profil Awal (<i>Trial Section ETABS</i>)	Profil Hasil Perencanaan
Balok induk	IWF 8×67; IWF 10×68	350×175×9×14; 400×200×8×13
Balok anak	IWF 8×67; IWF 14×50; IWF 10×68	200×150×6×9; 250×175×7×11
Kolom	IWF 18×83	350×350×14×22; 400×400×30×50

(Sumber: Hasil pemodelan dan perencanaan, 2026.)

Profil hasil perencanaan pada Tabel 4 selanjutnya digunakan dalam analisis dan pemeriksaan kapasitas elemen berdasarkan SNI 1729:2020. Pemenuhan akhir profil terhadap persyaratan kekuatan dan stabilitas dibahas pada bagian perencanaan elemen



struktur.

b. Hasil Analisis dan Respon Struktur

Analisis struktur dijalankan dengan metode respons spektrum menggunakan parameter kegempaan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024. Hasil analisis memperlihatkan periode fundamental struktur yang berbeda pada kedua arah utama bangunan, mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik kekakuan lateral struktur pada arah X dan Y.

Table 5. Periode Fundamental dan Koefisien Respons Seismik

Parameter	Arah X	Arah Y
Periode hasil ETABS, T (detik)	0,7328	0,3738
Ta minimum (detik)	0,4858	0,4858
Ta maksimum (detik)	0,6802	0,6802
Periode yang digunakan (detik)	0,6802	0,3738
SDS	1,333	1,333
SD1	1,360	1,360
R	8	8
le	1	1
Cs	0,1359	0,1359

(Sumber: Hasil analisis ETABS dan perhitungan, 2026.)

Periode fundamental hasil analisis menunjukkan nilai 0,7328 detik pada arah X dan 0,3738 detik pada arah Y. Periode arah X lebih besar daripada arah Y, yang menunjukkan bahwa respons lateral struktur pada arah X relatif lebih fleksibel. Berdasarkan batas periode yang digunakan dalam perhitungan, periode arah X dibatasi menjadi 0,6802 detik, sedangkan periode arah Y sebesar 0,3738 detik masih dapat digunakan.

Dengan parameter desain SDS = 1,333 dan SD1 = 1,360, serta nilai R = 8 dan le = 1, diperoleh koefisien respons seismik Cs = 0,1359. Nilai tersebut selanjutnya digunakan dalam penentuan gaya geser dasar struktur. Kecukupan jumlah ragam yang digunakan dalam analisis respons spektrum dievaluasi berdasarkan partisipasi massa kumulatif pada arah X dan Y. Hasil analisis menunjukkan bahwa partisipasi massa kumulatif arah X mencapai 92,95% pada ragam ke-4, sedangkan arah Y mencapai 94,85% pada ragam ke-5.

Table 6. Partisipasi Massa Ragam (Modal Participating Mass Ratios)

Mode	Periode (s)	UX	UY	SumUX	SumUY
2	0,364	0	0,3738	0,7328	0,3738
3	0,3	0,000002	0,000009	0,7328	0,3738
4	0,193	0,1966	0	0,9295	0,3738
5	0,117	0	0,5746	0,9295	0,9485
6	0,101	0,0021	0	0,9316	0,9485
7	0,095	0,0103	0	0,9419	0,9485
8	0,094	0	0	0,9419	0,9485
9	0,093	0,0047	0	0,9466	0,9485
10	0,093	0	0	0,9466	0,9485
11	0,092	0,0277	0	0,9743	0,9485
12	0,091	0,0003	0	0,9746	0,9485

(Sumber: Hasil analisis ETABS, 2026.)

Nilai tersebut telah melampaui batas minimum 90% yang digunakan untuk memastikan bahwa ragam getar yang diperhitungkan telah merepresentasikan respons dinamik struktur pada kedua arah utama. Dengan demikian, jumlah ragam yang digunakan dalam analisis dinyatakan mencukupi.

Validasi berikutnya dilakukan dengan membandingkan gaya geser dasar hasil analisis respons spektrum (EQD) terhadap gaya geser dasar hasil analisis statik ekuivalen (EQS). Perbandingan ini dilakukan untuk memastikan bahwa respons gempa hasil analisis dinamik tidak lebih kecil dari batas yang dipersyaratkan

Table 7. Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik

Arah	V statik (EQS) kN	V dinamik (EQD) kN	Rasio Vd/Vs	Ket.
X	5.227,224	5.226,8461	99,99%	OKE
Y	5.227,224	5.226,9359	99,99%	OKE

(Sumber: Hasil analisis ETABS, 2026.)

Hasil menunjukkan bahwa gaya geser dasar dinamik pada arah X sebesar 5.226,846 kN dan arah Y sebesar 5.226,936 kN, sedangkan gaya geser dasar statik ekuivalen pada kedua arah sebesar 5.227,224 kN. Rasio gaya geser dasar dinamik terhadap statik mencapai 99,99% pada kedua arah. Nilai tersebut berada di atas batas minimum yang digunakan dalam validasi analisis respons spektrum, sehingga tidak diperlukan faktor skala tambahan terhadap respons dinamik.

Secara keseluruhan, hasil periode fundamental, partisipasi massa, dan perbandingan gaya geser dasar menunjukkan bahwa model struktur telah memiliki karakteristik dinamik yang memadai untuk digunakan pada tahap evaluasi kinerja struktur dan perencanaan elemen baja.

c. Evaluasi Kinerja dan Stabilitas Struktur

Evaluasi kinerja struktur dilakukan untuk mengetahui respons bangunan terhadap beban gempa setelah model memenuhi persyaratan dasar analisis dinamik. Pemeriksaan meliputi simpangan antar tingkat (story drift), pengaruh P-Delta, dan ketidakberaturan torsi pada arah X dan Y.

1) Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Pemeriksaan simpangan antar tingkat dilakukan untuk memastikan deformasi lateral struktur akibat gempa tidak melampaui batas yang ditetapkan dalam SNI

1726:2019. Simpangan elastis hasil analisis ETABS diperbesar menggunakan faktor pembesaran defleksi $C_d = 5,5$, kemudian selisih simpangan antar lantai dibandingkan dengan simpangan izin.

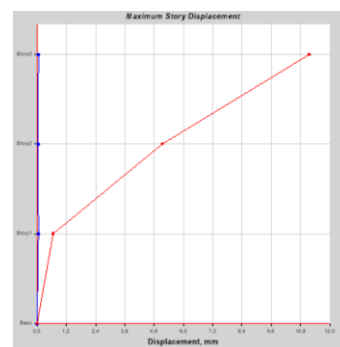
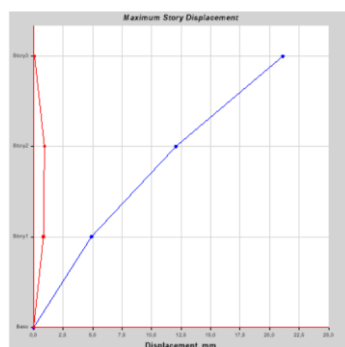
Table 8. Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik

Lantai	H (mm)	δx_e (mm)	$\delta x = C_d \cdot \delta x_e$ (mm)	Δ (mm)	$\Delta a/\rho$ (mm)	Arah	Ket.
3	10.800	21,102	116,061	9,03	72	X	OKE
2	7.200	12,072	66,396	7,177	72	X	OKE
1	3.600	4,895	26,923	4,895	72	X	OKE
Dasar	0	0	0	0	-	X	OKE
3	10.800	11,138	61,259	6,012	72	Y	OKE
2	7.200	5,126	28,193	4,468	72	Y	OKE
1	3.600	0,658	3,619	0,658	72	Y	OKE
Dasar	0	0	0	0	-	Y	OKE

(Sumber: Hasil analisis ETABS, 2026.)

Simpangan terbesar terjadi pada lantai 3, yaitu 9,030 mm pada arah X dan 6,012 mm pada arah Y. Kedua nilai ini masih jauh di bawah batas simpangan izin sebesar 72 mm, sehingga struktur memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat pada kedua arah.

Simpangan arah X yang lebih besar dibandingkan arah Y menunjukkan bahwa struktur relatif lebih fleksibel pada arah X. Hasil ini konsisten dengan periode fundamental yang lebih besar pada arah X sebagaimana telah dibahas pada bagian Hasil Analisis Respons Struktur. Nilai simpangan yang jauh di bawah batas izin ini juga menegaskan bahwa penguatan struktural pada bangunan bertingkat berbahan baja, sebagaimana dievaluasi lewat perbandingan simpangan antar tingkat berbasis ETABS pada studi kasus bangunan komersial dengan tambahan steel bracing di Kota Padang, memang efektif ditelusuri melalui parameter story drift sebagai indikator utama kekakuan lateral struktur (Silalahi, Jolandina, Yusmar, & Syah, 2024).



Gambar 5. Grafik Simpangan Antar Tingkat per Lantai arah X dan Arah Ketidakberaturan Torsi

Pengaruh P-Delta dievaluasi menggunakan koefisien stabilitas θ , yang menunjukkan tingkat pengaruh gaya gravitasi terhadap respons lateral

struktur. Nilai θ hasil analisis dibandingkan dengan batas maksimum yang digunakan dalam pemeriksaan stabilitas.

Table 9. Koefisien Stabilitas (P-Delta) Arah X dan Arah Y

Lantai	hsx (mm)	Δ (mm)	P (kN)	V (kN)	θ (rad)	Arah	Ket.
3	10.800	8,914	8681,65	2.709,33	0,000625	X	OKE
2	7.200	7,086	10317,1	4.299,78	0,000558	X	OKE
1	3.600	4,833	12375,3	5.226,85	0,000751	X	OKE
3	10.800	5,863	8681,65	2.932,60	0,001368	Y	OKE
2	7.200	4,359	10317,1	3.904,83	0,000907	Y	OKE
1	3.600	0,641	12375,3	5.226,90	0,00012	Y	OKE

(Sumber: Hasil analisis ETABS, 2026.)

Nilai koefisien stabilitas terbesar diperoleh pada lantai 3 arah Y sebesar 0,001368, sedangkan nilai terkecil sebesar 0,000120 pada lantai 1 arah Y. Seluruh nilai θ berada jauh di bawah batas 0,0625, sehingga pengaruh P-Delta terhadap stabilitas struktur relatif kecil dan tidak menunjukkan kebutuhan koreksi tambahan berdasarkan pemeriksaan ini.

Pemeriksaan ketidakberaturan torsi dilakukan dengan mengevaluasi faktor pembesaran torsi (A_x) pada setiap lantai. Nilai A_x diperoleh dari perbandingan simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata pada ujung diafragma lantai.

Table 10. Faktor Pembesaran Torsi (A_x) per Lantai

Lantai	Arah	Max (mm)	Rata-rata (mm)	A_x
3	X	21,102	21,033	1,00328
2	X	11,631	11,592	1,00336
1	X	4,43	4,374	1,0128
3	Y	11,138	11,083	1,00496
2	Y	1,332	1,327	1,00377
1	Y	0,658	0,656	1,00305

(Sumber: Hasil analisis ETABS, 2026.)

Nilai A_x terbesar terjadi pada lantai 1 arah X sebesar 1,0128, yang masih berada di bawah batas 1,20 yang digunakan dalam pemeriksaan. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan simpangan pada kedua ujung diafragma relatif kecil dan struktur tidak menunjukkan ketidakberaturan torsi yang signifikan berdasarkan parameter pemeriksaan tersebut.

Ketiga pemeriksaan menunjukkan respons struktur yang relatif terkendali. Simpangan antar tingkat masih jauh di bawah batas izin, koefisien stabilitas P-Delta memiliki nilai yang rendah, dan faktor pembesaran torsi berada dekat dengan nilai satu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi struktur yang digunakan memiliki kinerja lateral yang memadai pada arah X maupun Y.

Menariknya, respons arah X tetap menunjukkan deformasi yang lebih besar dibandingkan arah Y. Hal ini sejalan dengan periode fundamental arah X yang lebih panjang, sehingga arah X menjadi arah yang lebih fleksibel dan perlu menjadi perhatian dalam evaluasi desain elemen struktur selanjutnya.

d. Perencanaan dan Rekomendasi Profil Struktur

Setelah model struktur memenuhi pemeriksaan respons gempa dan kinerja

struktur, gaya dalam hasil analisis ETABS digunakan sebagai dasar dalam pemeriksaan kapasitas elemen baja. Perencanaan dilakukan terhadap balok dan kolom berdasarkan SNI 1729:2020 dengan mempertimbangkan kekuatan lentur, geser, gaya aksial, stabilitas, serta interaksi gaya aksial dan momen pada elemen yang relevan.

1) Perencanaan Balok

Balok diperiksa terhadap kapasitas lentur, geser, dan stabilitas lateral (lateral torsional buckling/LTB). Pemeriksaan dilakukan dengan membandingkan gaya perlu hasil analisis terhadap kapasitas desain penampang. Rasio kebutuhan terhadap kapasitas digunakan sebagai indikator pemenuhan elemen.

Table 11. Pemeriksaan Kapasitas Balok

Elemen	Profil	M_u (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	Rasio M	V_u (kN)	ϕV_n (kN)	Rasio Maks.
Balok induk 1	350×175×9×14	203,84	237,71	0,858	128,45	425,25	0,858
Balok induk 2	400×200×8×13	262,33	289,34	0,907	161,31	432,00	0,907
Balok anak 1	200×150×6×9	60,76	69,20	0,878	24,74	145,52	0,878
Balok anak 2	250×175×7×11	69,51	123,99	0,561	23,93	217,96	0,561

(Sumber: Hasil analisis dan perencanaan, 2026.)

Berdasarkan hasil pemeriksaan kapasitas, profil balok yang digunakan selanjutnya ditetapkan berdasarkan elemen dengan kebutuhan kapasitas terbesar. Selain kekuatan lentur dan geser, pemeriksaan stabilitas lateral dilakukan untuk memastikan penampang tidak mengalami kegagalan akibat lateral torsional buckling.

2) Perencanaan Kolom

Kolom diperiksa terhadap gaya aksial dan momen yang bekerja secara bersamaan. Pemeriksaan dilakukan menggunakan interaksi aksial-momen (P-M) dengan mempertimbangkan kapasitas tekan penampang dan stabilitas kolom.

Table 12. Pemeriksaan Interaksi Aksial-Momen (P-M) Kolom

Elemen	Profil	P_u (kN)	ϕP_n (kN)	M_u-x / ϕM_n-x (kN·m)	M_u-y / ϕM_n-y (kN·m)	Rasio P-M	Ket.
Kolom 1	350×350×14×22	235,15	4.138,01	93,83 / 641,998	117,68 / 306,561	0,558 (=0,028+0,146+0,384)	OKE
Kolom 2	400×400×30×50	1.253,25	10.688,34	346,52 / 1.726,875	191,06 / 915,188	0,468 (=0,059+0,201+0,209)	OKE

(Sumber: Hasil analisis dan perencanaan, 2026.)

Hasil pemeriksaan kolom digunakan untuk menentukan kemampuan penampang dalam memikul kombinasi gaya aksial dan momen. Elemen dengan rasio interaksi terbesar menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan elemen yang paling kritis dalam desain.

3) Rekomendasi Profil Struktur

Berdasarkan proses analisis dan pemeriksaan kapasitas, profil struktur yang digunakan dalam model hasil perencanaan terdiri atas balok induk, balok anak, dan kolom dengan variasi penampang sesuai kebutuhan masing-masing elemen. Profil tersebut merupakan hasil penyesuaian dari trial section pada tahap preliminary design.

Table 13. Profil Penampang Elemen Struktur

Elemen	Profil (B×H×tw×tf, mm)
Balok induk 1	350 × 175 × 9 × 14
Balok induk 2	400 × 200 × 8 × 13
Balok anak 1	200 × 150 × 6 × 9
Balok anak 2	250 × 175 × 7 × 11
Kolom 1	350 × 350 × 14 × 22
Kolom 2	400 × 400 × 30 × 50

(Sumber: Hasil pemodelan dan perencanaan, 2026.)

Profil tersebut direkomendasikan sebagai konfigurasi penampang struktur berdasarkan hasil analisis dan evaluasi yang dilakukan.

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan perencanaan struktur gedung parkir tiga lantai berbasis baja di kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), menggunakan parameter kegempaan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024 dan kondisi tanah Kelas Situs SD (tanah sedang) berdasarkan data N-SPT yang tersedia. Perbandingan terhadap Peta Gempa 2017 yang menjadi dasar SNI 1726:2019 menunjukkan bahwa nilai S_s meningkat 8,15% dan nilai S_1 meningkat jauh lebih signifikan, yaitu 72,81%, sehingga parameter desain SD1 naik dari 0,79 g menjadi 1,36 g. Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan parameter gempa terbaru bukan sekadar formalitas administratif, melainkan menghasilkan tuntutan desain yang berbeda secara substansial dibandingkan peta sebelumnya.

Tahap preliminary design menghasilkan konfigurasi grid dengan bentang 6-8 m dan trial section awal (IWF 8×67 hingga IWF 18×83) yang selanjutnya disesuaikan secara iteratif menjadi profil akhir. Hasil analisis respons struktur menunjukkan periode fundamental sebesar 0,7328 detik pada arah X dan 0,3738 detik pada arah Y dengan koefisien respons seismik $C_s = 0,1359$; partisipasi massa ragam kumulatif telah melampaui batas minimum 90% pada ragam ke-4 (arah X, 92,95%) dan ragam ke-5 (arah Y, 94,85%); serta rasio gaya geser dasar dinamik terhadap statik mencapai 99,99% pada kedua arah, sehingga model struktur dinyatakan memiliki karakteristik dinamik yang memadai.

Evaluasi kinerja struktur menunjukkan simpangan antar tingkat maksimum sebesar 9,03 mm pada arah X dan 6,012 mm pada arah Y, keduanya jauh di bawah batas izin 72 mm; koefisien stabilitas P-Delta maksimum sebesar 0,001368, jauh di bawah batas 0,0625; serta faktor pembesaran torsi maksimum sebesar 1,0128, di bawah batas 1,2. Pemeriksaan kapasitas elemen berdasarkan SNI 1729:2020 menunjukkan seluruh balok dan kolom memenuhi persyaratan kekuatan, dengan rasio kebutuhan terhadap kapasitas tertinggi pada balok induk 2 sebesar 0,907 dan rasio interaksi P-M tertinggi pada Kolom 1 sebesar 0,558. Profil akhir yang



direkomendasikan terdiri atas balok induk $350 \times 175 \times 9 \times 14$ dan $400 \times 200 \times 8 \times 13$, balok anak $200 \times 150 \times 6 \times 9$ dan $250 \times 175 \times 7 \times 11$, serta kolom $350 \times 350 \times 14 \times 22$ dan $400 \times 400 \times 30 \times 50$.

Dengan demikian, perencanaan struktur gedung parkir bertingkat berbasis baja ini dinyatakan aman dan layak secara teknis untuk diterapkan sebagai solusi terhadap keterbatasan kapasitas parkir di kawasan Pasar Pusat Kota Padang Panjang, sekaligus telah mempertimbangkan tuntutan seismik terbaru berdasarkan Peta Gempa 2024. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji desain sambungan balok-kolom secara lebih rinci, perhitungan struktur bawah (pondasi), serta estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) agar hasil perencanaan lebih aplikatif untuk tahap pembangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2024). Statistik transportasi darat 2024. Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Kota Padang Panjang. (2025). Jumlah kendaraan bermotor Kota Padang Panjang, 2022-2025. Badan Pusat Statistik Kota Padang Panjang.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Badan Standardisasi Nasional.
- Flynn, L., & Astaneh-Asl, A. (2001). Seismic behavior and ductility of steel structural systems. Structural Steel Educational Council.
- Hari Mardiansjah, F., & Rahayu, P. (2019). Urbanisasi dan pertumbuhan kota-kota di Indonesia: Suatu perbandingan antarwilayah makro Indonesia. *Jurnal Pengembangan Kota*, 7(1), 91-108.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2024). Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2024. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Salmon, C. G., Johnson, J. E., & Malhas, F. A. (2009). *Steel structures: Design and behavior* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Silalahi, J., Jolandina, R. F., Yusmar, F., & Syah, N. (2024). Effectiveness of building structure reinforcement to withstand earthquake loads with ETABS V.19 application (Case study of commercial building "Butik Tanah Liek Pusako Mande"). *CIVED*, 11(1), 325-334. <https://doi.org/10.24036/cived.v11i1.534>
- Sumbar Daily. (2026). Penertiban parkir liar di kawasan Pasar Pusat Padang Panjang masih berlangsung.
- Zayu, W. P., & Vitri, G. (2019). Permodelan parkir Pasar Kota Padang Panjang. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 6(2), 88-97