

EVALUASI DAMPAK KERUSAKAN BANGUNAN DEKAT PATAHAN (NEAR-FAULT) GEMPA (STUDI KASUS: BANGUNAN NON-ENGINEERED STRUCTURE)

Anggi Anugrah Ferdian¹, Rusnardi Rahmat Putra²

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: eddyanugrah@gmail.com rusnardi.rahmat@gmail.com

Abstrak: Kajari, Kecamatan Talamau, Kabupaten Pasaman Barat, merupakan salah satu wilayah yang ada di Sumatra Barat dengan potensi bencana gempa yang tinggi. Gempa Pasaman 2022 menyebabkan banyak kerusakan pada bangunan masyarakat terutama pada bangunan yang tidak dirancang oleh ahli struktur. Permasalahan ini juga menjadi alasan tingginya kerusakan bangunan akibat Gempa Pasaman. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi dampak gempa patahan terhadap bangunan pada jarak dekat patahan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif. Pada penelitian ini yang dibahas adalah asesmen, evaluasi struktur, dan analisis riwayat waktu yang menggunakan simulasi gelombang Gempa Pasaman untuk analisa struktur. Bangunan yang dipilih merupakan bangunan sederhana yang terdampak oleh Gempa Pasaman. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil analisis data berupa: (1) Kuat tekan beton rata-rata bangunan sebesar 17,58 Mpa yang diambil dari uji tekan beton menggunakan *Hammer Test*. (2) Simpangan antar lantai pada bangunan sebesar 11,583 mm arah x, dan 13,024 pada arah y, yang termasuk dalam kategori aman. (3) Elemen balok dan kolom termasuk dalam kategori tidak aman, karena beban yang bekerja pada struktur terlalu besar dari kapasitas beban elemen struktur. (4) Rekomendasi perbaikan atau perkuatan bangunan rumah tinggal adalah perbaikan atau perkuatan di bagian balok dan kolom.

Kata Kunci: Asesmen, Evaluasi Struktur, Analisis Riwayat Waktu.

Abstract: *Kajari, Talamau District, West Pasaman Regency, is one of the areas in West Sumatra with a high potential for earthquake disasters. The 2022 Pasaman earthquake caused a lot of damage to community buildings, especially to buildings that were not designed by structural experts. This problem is also the reason for the high level of damage to buildings due to the Pasaman Earthquake. The aim of this research is to transmit the impact of a fault earthquake on buildings at a distance near the fault. The research method used is a quantitative descriptive method. In this research, what is discussed is assessment, structural evaluation, and time history analysis using Pasaman Earthquake wave simulations for structural analysis. The building chosen is a simple building that was affected by the Pasaman Earthquake. Based on the research that has been carried out, the results of the analysis data are: (1) The average compressive strength of the building's concrete is 17.58 MPa which is taken from the concrete compression test using the Hammer Test. (2) The deviation between floors in the building is 11.583 mm in the x direction and 13.024 mm in the y direction, which is included in the safe category. (3) Beam and column elements are included in the not optimal category (NOT OK), because they still do not meet design requirements such as geometric requirements, stirrup distances and reinforcement requirements. (4) Recommendations for repairing or strengthening residential buildings include repairing or strengthening beams and columns.*

Keyword : *Assessment, Structure Evaluation, Time History Analysis.*

PENDAHULUAN

Secara geografis Indonesia terletak di antara dua benua (Asia dan Australia), dan diapit dua samudera (Hindia dan Pasifik). Indonesia juga memiliki gunung-gunung aktif yang tersebar di hampir seluruh pulau. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan 3 (tiga) lempeng tektonik, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia cenderung bergerak ke arah utara dan menerus ke dalam Lempeng Eurasia, sedangkan Lempeng Pasifik bergerak cenderung ke arah barat. Selain ketiga lempeng tersebut, terdapat pula lempeng mikro yaitu Lempeng Filipina (Sari, 2016). Diantara banyaknya pulau di Indonesia, Pulau Sumatra menjadi salah satu pulau dengan potensi gempa yang tinggi.

Pulau Sumatra merupakan satu daerah gempa paling aktif di dunia karena terletak pada pertemuan lempeng (Zona Subduksi) Lempeng Eurasia yang berinteraksi konvergen secara miring (oblique) dengan Lempeng Indo-Australia (McCaffrey, 2009). Tumbukan miring antara dua lempeng menimbulkan dua resultan gaya, yaitu arah tegak lurus dan mendatar. Gaya tegak lurus menarik ujung Lempeng Samudera Indo-Australia menyusup ke bawah Lempeng Eurasia yang membentuk zona subduksi di Palung Sunda. Sedangkan gaya mendatar, menarik bagian barat Pulau Sumatra ke arah barat laut sehingga rekahan memanjang sejajar batas lempeng yang dikenal dengan *The Great Sumatran Fault* atau Sesar Besar Sumatra.

Sesar atau patahan merupakan diskontinuitas atau sifat batuan di alam yang heterogen, anisotrop menyebabkan kekuatan batuan menjadi lemah, sehingga terdapat perpindahan penting sebagai akibat dari gerakan batuan. Sesar atau patahan secara geologi adalah Sesar sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) satu blok terhadap blok batuan lainnya. Jarak pergeseran tersebut mulai dari beberapa millimeter hingga puluhan milimeter, sedangkan bidang sesarnya mulai dari yang berukuran beberapa sentimeter hingga puluhan kilometer (Billing, 1959). Sesar besar di muka bumi merupakan hasil dari gaya aksi lempeng tektonik dengan membentuk batas-batas antara lempeng, seperti zona subduksi atau sesar transform. Energi pada lempeng yang lepas menyebabkan gerakan pada sesar aktif yang menjadi penyebab utama gempa bumi. Secara geofisika, sesar terjadi karena batuan dengan suhu rendah mengalami tekanan dan menjadikan batuan bersifat rapuh. Area sesar yang aktif bergerak

merupakan area rawan gempa bumi, dikarenakan sesar merupakan zona sesar/ bidang sesar.

Sumatra Barat secara regional berada pada Pulau Sumatra juga akan merasakan dampak dari zona subduksi yang juga menambah potensi-potensi gempa yang akan terjadi. Sumatra Barat juga berada pada posisi jalur Patahan Sumatra atau yang dikenal dengan Patahan Semangko. Patahan ini memiliki panjang hingga 1650 km dari utara hingga selatan, yaitu dari aceh melewati Bukit Barisan hingga Teluk Semangka di Lampung. Patahan Semangko memiliki 19 Segmen Sesar, yang mana 7 (tujuh) diantaranya berada di Sumatra Barat, beberapa diantaranya yaitu Segmen Sumpur, Segmen Sianok, Segmen Sumani Gempa-gempa dengan magnitudo besar (gempa besar) yang telah terjadi berada di sekitar patahan besar Sumatra selama 200 tahun terakhir. Tercatat gempa yang terjadi pada 8 Maret 1977 di Segmen Sumpur sebesar 5,5 SR. Pada Segmen Sianok pada 6 Maret 2007 dengan 6,2 SR, dan di Padang Panjang sebesar 5,0 SR pada 11 September 2014 (Simanjuntak, 2014) terkhusus di Kabupaten Pasaman Barat.

Pasaman Barat termasuk paling tinggi dengan potensi gempa yang sangat merusak. Pasaman Barat merupakan salah satu daerah yang dilewati Patahan Semangko (Edward, 2015). Tercatat pada tanggal 25 Februari 2022, telah terjadi gempa bumi berkekuatan 6,1 M yang merusak, dengan kerusakan terbanyak pada rumah tinggal masyarakat (BMKG, 2022). Kerusakan pada rumah tinggal masyarakat diakibatkan perencanaan bangunan yang tidak dirancang oleh ahli struktur, dan pelaksanaan konstruksi yang tidak diawasi sesuai dengan standar pelaksanaan yang berlaku. Minimnya pengetahuan dalam bidang konstruksi dan kemampuan perekonomian yang relatif rendah, menjadi alasan utama



Gambar 1. Lokasi Penelitian

terjadinya kerusakan akibat gempa

Penelitian dilakukan untuk:

1. Untuk mengetahui dampak gempa patahan terhadap bangunan pada jarak dekat patahan.
2. Untuk memberikan rekomendasi perbaikan atau perkuatan untuk bangunan eksisting yang diteliti

METODE PENELITIAN

Lingkup Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif yang menekankan analisis pada data numerik (angka) yang nantinya akan dianalisis dengan metode statistik yang sesuai.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di salah satu rumah masyarakat di Jorong Pasa Lamo, Kenagarian Kajai, Kecamatan Talamau, Kabupaten Pasaman Barat.

Metode Pengumpulan Data

Data yang akan diperlukan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder yang penjelasannya akan diuraikan sebagai berikut:

1. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh dengan melakukan penelitian langsung di lapangan. Data primer ini sangat dibutuhkan terutama dalam menentukan mutu material dan dimensi bangunan yang digunakan, untuk menjadikan penelitian menjadi lebih akurat.

2. Data sekunder

Jenis data yang kedua adalah data sekunder yang merupakan jenis data yang diperoleh bukan dari penelitian langsung akan tetapi dari informasi sumber-sumber lain terkait dengan penelitian. Katalog USGS sebagai salah satu sumber dalam mengidentifikasi parameter gempa dalam analisa riwayat waktu (*Time History*). Parameter yang diambil berupa PGA (*Peak Ground Acceleration*) Gempa Pasaman.

Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian ini menggunakan prosedur sebagai berikut:

1. Data Bangunan *Non-Engineered Structure*

Data bangunan rumah tinggal digunakan sebagai acuan dalam evaluasi dengan analisis struktur bangunan. Data bangunan yang dikumpulkan berupa gambar yang diambil dari data visual, material dengan menggunakan Hammer Test, dan beban yang disamakan

dengan kaidah dalam SNI 1727: 2020 terkait beban bangunan.

2. Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan dan pengamatan visual berguna dalam memeriksa keadaan eksisting bangunan. Lokasi penelitian merupakan salah satu bangunan yang terdampak Gempa Pasaman. Data kerusakan akan dibandingkan dengan hasil analisis struktur untuk menyesuaikan kerusakan struktur eksisting dengan hasil analisis bangunan.

3. Pengambilan Parameter Gempa

Data Gempa Pasaman akan disimulasikan/dimodifikasi menggunakan metode sinusoidal dengan mengambil parameter gempa dari katalog USGS. Parameter yang diperlukan adalah data PGA (*peak ground acceleration*) yang menjadi parameter utama dalam gerak tanah.

4. Simulasi Gerak Tanah

Data PGA yang diambil dari katalog USGS akan dimasukkan dalam persamaan sinus dengan hasil gelombang tertinggi sesuai dengan PGA Gempa Pasaman. Metode sinusoidal merupakan salah satu cara dalam menganalisa perilaku bangunan terhadap suatu gempa yang terjadi.

5. Analisis Riwayat Waktu

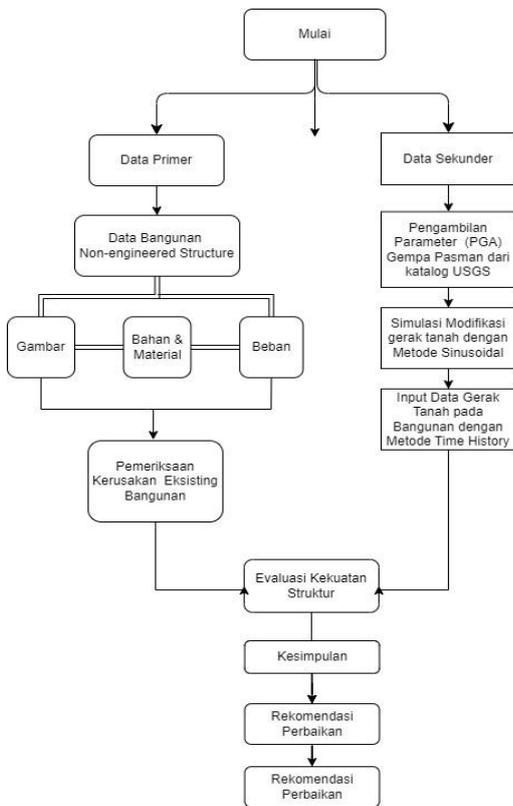
Metode sinusoidal akan menghasilkan grafik gempa. Grafik gempa akan diinput pada bangunan dengan analisis riwayat waktu (*Time History*). Analisis riwayat waktu merupakan metode analisis yang menganalisa beban gempa dengan unsur beban sebenarnya (beban dinamik).

6. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur dilakukan dengan bantuan program analisis struktur yaitu ETABS. Pemodelan bangunan menggunakan data dari hasil penelitian di lapangan. Hasil analisis struktur bangunan akan dilakukan pengecekan kekuatan pada elemen balok dan kolom.

7. Rekomendasi Perbaikan

Rekomendasi perbaikan atau perkuatan bangunan agar bangunan dapat difungsikan dengan baik dengan kemampuan struktur ramah gempa. Rekomendasi akan didapat sesuai dengan hasil evaluasi pada struktur, dengan merekomendasikan perbaikan pada bangunan. Tingkat pelayanan jalan dinilai dengan melihat DS untuk kondisi yang diamati.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Visual

Data visual berguna untuk pengecekan mula keadaan eksisting bangunan dengan tujuan untuk mengetahui kerusakan pada bangunan yang selanjutnya akan disesuaikan dengan hasil dari evaluasi analisis struktur. Dari pengamatan visual, terdapat kerusakan pada elemen kolom berupa



Gambar 3. Kerusakan Elemen Kolom, Balok, dan Dinding

2. Data Struktur

Data struktur yang digunakan merupakan hasil pendataan visual yang diambil langsung di lapangan. Kuat tekan beton diambil dari uji kuat tekan beton menggunakan *Hammer Test*, Berikut data yang digunakan dalam evaluasi, sebagai berikut:

Tabel 1. Data Elevasi Rumah Tinggal

No.	Lantai	Tinggi Lantai (m)	Elevasi	Fungsi
1	Dasar	0	0	Warung
2	Lantai 1	3,3	3,3	Rumah Tinggal
3	Lantai 2	2,7	6	Atap

Tabel 2. Mutu Material Rumah Tinggal

Fungsi	Mutu Beton Bangunan	
	Fc' (MPa)	Ec (MPa)
Kolom	17,58	20125,69
Balok	17,58	20125,69
Pelat Lantai	17,58	20125,69

Mutu Baja

Fungsi	Mutu Baja		
	Fy (MPa)	Fu (Mpa)	Ec (MPa)
Tulangan Utama	240	380	200.000
Tulangan Sengkang	240	380	200.000

Tabel 3. Data Penampang Elemen Struktur

No.	Label	Dimensi (mm)	Tulangan	Sengkang
Kolom				
1.	K1	210 x 230	6Ø10	Ø8-120
2.	K2	210 x 240	6Ø10	Ø8-120
3.	K3	210 x 250	6Ø10	Ø8-120
Balok				
1.	Balok Lt1	200 x 280	6Ø10	Ø8-120
2.	Balok Lt2	185 x 200	4Ø10	Ø8-120
Pelat		Tebal (mm)		
1.	Slab	120		

3. Pembebanan

Pembebanan pada bangunan dapat diklasifikasikan menjadi 3 kategori: (1) Beban Mati, (2) Beban Hidup, (3) Beban Gempa. Beban gempa yang bekerja pada struktur diambil dari beban statik respon spektrum dan beban gempa modifikasi dari analisa riwayat waktu yang merupakan beban dinamik. Beban mati dan beban hidup yang digunakan sesuai dengan PPPUPRG (1987), dan SNI 2847-2019 sebagai berikut:

Tabel 4. Beban Mati

Bahan Bangunan	Berat Jenis
----------------	-------------

Baja	7850 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Spesi per cm tebal	21 kg/m ²
Dinding Pasangan	250 kg/m ²
Setengah bata merah	

Tabel 5. Beban Hidup

Penggunaan	Merata (kN/m ²)
Rumah Tinggal Semua Ruangannya Kecuali Tangga	1,92
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani, tidak perlu melebihi 4,79 kN/m ²
Atap Atap bukan untuk hunian	0,96

Analisis gaya geser dasar seismik merupakan analisis struktur bangunan yang mengasumsikan beban statis horizontal diperoleh dari pengaruh respon gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019 persamaan geser dasar seismik statik ekuivalen:

$$V = C_s \cdot W \quad (1)$$

Dari persamaan diatas maka didapatkan hasil:

Sx (manual)	12,67	kN
SY (manual)	12,67	kN
SX (ETABS)	14,25	kN
SY (ETABS)	14,25	kN
Faktor Skala Awal X	1225,83	mm/s ²
Faktor Skala Awal Y	1225,83	mm/s ²
Gaya Geser Dinamik X	10,809	kN
Gaya Geser Dinamik Y	12,233	kN
Faktor Skala Arah X (Used)	1436,77	mm/s ²
Faktor Skala Arah Y (Used)	1269,53	mm/s ²

Perhitungan faktor skala di atas dapat disimpulkan bahwa gaya geser dinamik arah X dan Y memiliki nilai yang berbeda ($V_x = 10,809$ dan $V_y = 12,233$). Pada perhitungan manual arah X dan Y memiliki nilai V statik sebesar 12,67 kN, dan V statik pada program ETABS memiliki nilai statik 14,25 kN. Penskalaan gaya yang digunakan menjadi 1436,77 mm/s² pada arah X, dan 1269,53 mm/s² pada arah Y.

Dari beban yang telah diklasifikasikan, maka terdapat beberapa kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2019 sebagai berikut:

Tabel 6. Kombinasi Beban

No.	Beban Terfaktor
1.	1,4 D
2.	1,2 D + 1,6L + 0,5 (Lr atau S atau R)

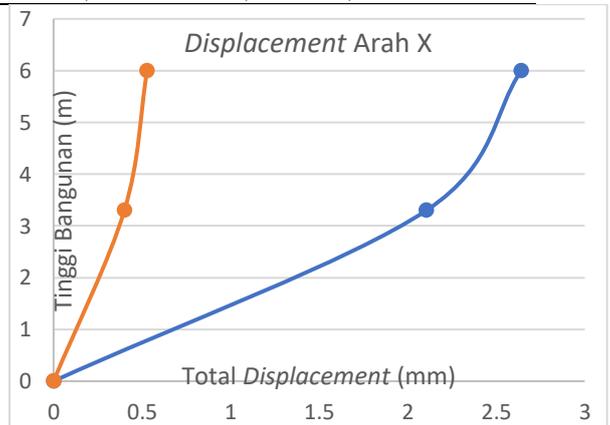
- 1,2 D + 1,6L (Lr atau S atau R) + (L atau 0,5W)
- 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr atau S atau R)
- 0,9D + 1,0W
- 1,2D + 1,0E + 1,0L
- 0,9D + 1,0E

4. Simpangan Antar Lantai

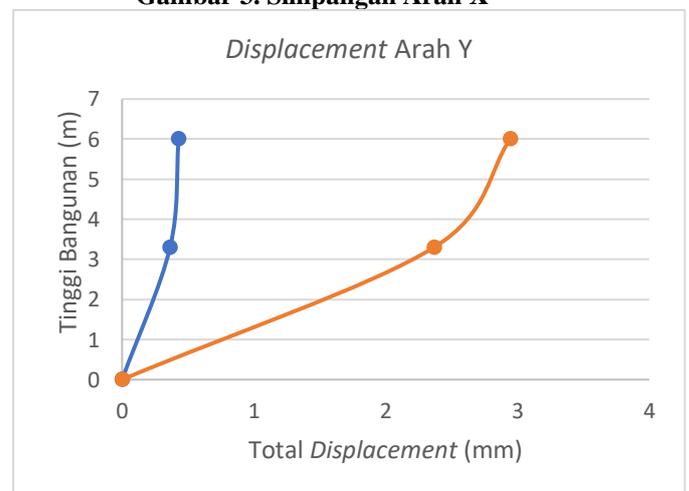
Perhitungan simpangan antar lantai berfungsi untuk mengetahui perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan. Simpangan bangunan dinyatakan aman apabila simpangan yang terjadi harus lebih kecil dari simpangan izin. Perhitungan simpangan sebagai berikut:

Tabel 7. Simpangan Antar Lantai

Inelastic Drift Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	Drift Limit (mm)	CEK
2,943	3,174	41,538	OK
11,583	13,024	50,769	OK



Gambar 3. Simpangan Arah X



Gambar 4. Simpangan Arah Y

Perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai yang terdapat pada struktur masih dalam kategori aman.

5. Evaluasi Elemen Struktur

Evaluasi struktur dilakukan untuk meninjau kemampuan struktur dalam menahan beban

yang bekerja pada struktur. Berikut rekapitulasi perhitungan kemampuan nominal struktur:

Tabel 8. Kapasitas Geser Balok

Tipe	Dimensi			Vu	Vn	CEK
	b	h	d	(kN)	(kN)	
B1 (Tum)	200	230	177	18,9244	23,1235	NOT OK
B1 (Lap)	200	230	177	18,9244	12,8144	OK
B2 (Tum)	170	200	117	12,5094	6,31522	OK
B2 (Lap)	170	200	117	12,5094	2,3582	OK

Tabel di atas merupakan rekapitulasi balok lantai 1 dan lantai 2 dalam menahan geser pada bangunan. Struktur mampu menahan geser pada elemen kecuali pada bagian tumpuan balok lantai 1. Sehingga dapat disimpulkan desain balok seperti berikut:

Tabel 9. Hasil Perhitungan Desain Balok Lt 1

No.	Parameter	Cek
1	Syarat Gaya dan Geometri	OK
2	Tulangan Pokok Tumpuan Atas	NOT OK
3	Tulangan Pokok Tumpuan Bawah	OK
4	Tulangan Pokok Lapangan Atas	OK
5	Tulangan Pokok Lapangan Bawah	NOT OK
6	Tulangan Sengkang Tumpuan	NOT OK
7	Tulangan Sengkang Lapangan	NOT OK

Dari rekapitulasi desain balok dapat disimpulkan kemampuan tulangan pada sengkang dan wilayah tarik dari balok (tulangan pokok tumpuan atas, tulangan pokok lapangan bawah, dan sengkang).

Tabel 10. Gaya Aksial dan Momen Lentur

Kondisi	P	Mx	My	$\phi M_n / \mu$	CEK
	(kN)	(kNm)	(kNm)		
P Max	-1,9287	0,7727	0,3818	10,915	OK
P Min	-100,41	-5,01	3,109	0,034	NOT OK
Mx Max	-89,43	6,8348	3,1889	0,210	NOT OK
Mx Min	-89,14	-6,53	0,7554	0,321	NOT OK
My Max	-87,20	-1,83	8,8221	0,173	NOT OK
My Min	-76,03	0,6245	-8,57	0,289	NOT OK

Hasil evaluasi dari perhitungan kemampuan kolom dalam menahan gaya aksial dan momen lentur, kapasitas nominal kolom belum mampu untuk menopang beban. Berikut kapasitas geser dari kolom.

Tabel 11. Kapasitas Geser Kolom

Lokasi	Vu	Vn	CEK
	(kN)	(kN)	
Geser Tumpuan	32,37	19,94	OK
Geser Lapangan	29,157	5,564	OK

Sehingga dapat diambil rekapitulasi kemampuan desain kolom dalam menahan beban sebagai berikut:

No	Parameter	Cek
1	Syarat Geometri	NOT OK
2	Rasio Tulangan Lentur	OK

3	Syarat <i>Strong Column Weak Beam</i>	OK
4	Kapasitas Geser Tumpuan	OK
5	Kapasitas Geser Lapangan	OK
6	Tulangan Sengkang Tumpuan	NOT OK
7	Tulangan Sengkang Lapangan	OK
8	Spasi Sengkang Tumpuan	NOT OK
9	Spasi Sengkang Lapangan	NOT OK
10	Jarak Antar Kaki Sengkang	OK

Rekapitulasi hasil desain kolom dapat diambil kesimpulan bahwa penulangan kolom masih perlu perbaikan pada tulangan dan spasi sengkang, serta perbaikan pada tulangan dalam menahan aksial dan momen lentur.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Bangunan rumah tinggal yang diteliti memiliki kuat tekan beton rata-rata 17,58 Mpa yang diambil dari elemen kolom dan balok. Pengambilan kuat tekan pada elemen pelat terhalang karena finishing pelat yang tipis, sehingga pengambilan data akan mengakibatkan kerusakan.
- Gaya geser dasar yang bekerja pada bangunan sebesar 12,67 kN setelah penskalaan gaya
- Simpangan antar lantai yang terjadi pada bangunan masuk dalam kategori aman dengan nilai perpindahan terbesar arah X 11,583 mm, dan perpindahan terbesar arah Y 13,024 mm.
- Ditinjau dari pengamatan visual, bangunan rumah tinggal termasuk dalam kategori rusak sedang sesuai dengan Skala Intensitas Gempabumi (BMKG, 2023). Hal ini dilihat dari kerusakan pada elemen struktur dan kerusakan pada dinding bangunan. Beberapa bagian dinding roboh.
- Berdasarkan hasil evaluasi analisis stuktur, elemen balok dan kolom termasuk dalam kategori belum maksimal, karena beberapa fungsi dalam menahan beban belum baik seperti geometri (dimensi penampang), jarak sengkang, dan gaya geser nominal.
- Rekomendasi perbaikan atau perkuatan bangunan rumah tinggal adalah perbaikan atau perkuatan di bagian balok dan kolom, serta perancangan dinding yang juga mampu menahan beban gempa.

SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut saran dalam penelitian agar menjadi penelitian yang lebih baik untuk selanjutnya:

- Perlunya data-data struktur yang lebih detail agar hasil evaluasi struktur yang dianalisis

menjadi lebih akurat. Termasuk pada pelat lantai.

2. Diperlukan analisis bangunan secara numerik yang lebih detail agar hasil analisis lebih maksimal
3. Bangunan rumah tinggal termasuk dalam kategori rusak sedang sesuai dengan Skala Intensitas Gempabumi (BMKG, 2023), dimana terdapat kerusakan elemen struktur, keretakan pada dinding bangunan, sebagian dinding roboh.
4. Untuk melakukan perbaikan atau perkuatan, disarankan untuk dirancang dan dilaksanakan oleh tenaga ahli dalam bidangnya agar hasil yang diperoleh maksimal

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*, SNI 2847-2019. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Nongedung*, SNI 1726-2019. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727-2020. Jakarta: BSN

Billings, M.P. (1959). *Structural Geology*, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

BMKG. (2023). Skala Intensitas Gempabumi. Retrieved June 21, 2023, from Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika: [Skala MMI \(Modified Mercalli Intensity\) | BMKG](#)

BMKG. (2022). Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempabumi Laut Pasaman 25 Februari 2022. Retrieved October 26, 2023, from Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika: <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=ulasan-guncangan-tanah-akibat-gempabumi-timur-laut-pasaman-25-februari-2022&lang=ID&tag=ulasan-guncangan-tanah>

Edward, A. (2015). "Bahaya Gempa Zona Patahan Sumatera". TIM Pusat Pengendalian Operasi Penanggulangan Bencana BPBD Provinsi Sumatera Barat.

McCaffrey, R. (2009). "The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone". *Journal of Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37. Hlm. 345-366

Sari, Y. P. (2016). "*Studi Mitigasi Bencana Gempabumi dengan Pemetaan Mikrozonasi*

Daerah Makassar Sulawesi Selatan Menggunakan Data Mikrotremor berdasarkan Analisis HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)". Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.

Simanjuntak, B. (2014) Buletin Stasiun Geofisika Klas 1 Padang Panjang (BMKG, Padang Panjang, 2014), hal 1-4.