

## EVALUASI STRUKTUR GEDUNG SENTRA RENDANG TERHADAP BEBAN GEMPA DAN TSUNAMI SEBAGAI SHELTER

DEDED EKA SAHPUTRA<sup>1</sup>, RITA NASMIRAYANTI<sup>2</sup>, RAFKI IMANI<sup>3</sup>, FAKHRU ROZI<sup>4</sup>

Fakultas Teknik, Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang<sup>1,2,3,4</sup>

Email: deded\_ekasaputra@upiyptk.ac.id<sup>1</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rjt.v6i1.3859>

**Abstrak** : Kota Padang di Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah di Indonesia dengan risiko gempa bumi dan tsunami yang tinggi. Pesisir pantai Kota Padang berada di bagian barat yang berhadapan dengan zona sumber gempa bumi Megathrust. Berdasarkan hal tersebut, bangunan publik yang berada di kawasan pesisir pantai harus dirancang kuat terhadap beban gempa dan tsunami. Selain dari fungsi bangunan dirancang sebagai tempat pelayanan publik juga bisa dijadikan tempat perlindungan bencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan elemen struktur gedung terhadap beban gempa dan tsunami, serta kinerja struktur ditinjau dari displacement dan story drift. Pendekatan yang digunakan untuk memperhitungkan beban lateral yang bekerja pada struktur bangunan, yaitu analisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum dengan menggunakan program ETABS. Hasil dari penelitian ini adalah struktur kolom tidak kuat terhadap beban yang bekerja baik beban gempa maupun beban tsunami. Sedangkan pada struktur balok, balok induk tipe B1 dan tipe B1-2 pada posisi lantai 1 tidak kuat terhadap beban gempa yang bekerja. Berdasarkan tinjauan kinerja struktur displacement pada arah X dan arah Y akibat beban gempa tidak memenuhi syarat SNI-1726-2019 Pasal 7.12.1.1. Gedung sentra rendang tidak aman dijadikan tempat perlindungan bencana.

**Kata kunci:** gempabumi, tsunami, sentra rendang, tempat berlindung, struktur

**Abstract:** The city of Padang in West Sumatra is one of the areas in Indonesia with a high risk of earthquakes and tsunamis. The coastal area of Padang City is in the western part facing the Megathrust earthquake source zone. Based on this, public buildings located in coastal areas must be designed to withstand earthquakes and tsunami loads. Apart from the function of the building being designed as a place for public services it can also be used as a disaster shelter. This study aims to determine the strength of building structural elements against earthquakes and tsunamis and structural performance in terms of displacement and story drift. The approach used to calculate the lateral load acting on the building structure is the statically equivalent analysis and dynamic response spectrum analysis using the ETABS program. The result of this research is that the column structure is not strong enough to withstand both earthquake loads and tsunami loads. In the beam structure, the main beams type B1 and type B1-2 on the 1st-floor position are not strong against the earthquake load that works. Based on a review of the performance of displacement structures in the X and Y directions due to earthquake loads, they do not meet the requirements of SNI-1726-2019 Article 7.12.1.1. The rendang centre building is not safe to be used as a disaster shelter.

**Keywords:** earthquake, tsunami, rendang centre, shelter, structure

### A. Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan negara kepulauan. Berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu Indo Australia, Eurasia, dan Pasifik. Ketika salah satu dari ketiga lempeng bumi tersebut bergerak, akan dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi dan tsunami. Tidak heran Negara Indonesia merupakan daerah yang rawan bencana.

Salah satu bencana yang pernah terjadi berada di provinsi Sumatera Barat pada tanggal 30 September tahun 2009. Dengan kekuatan guncangan gempa sebesar 7,9 Skala Richter. Akibatnya banyak korban jiwa berjatuh yang disebabkan keruntuhan bangunan yang secara tiba-tiba tanpa bisa menyelamatkan diri keluar bangunan. Gempa yang terjadi tidak sampai menimbulkan tsunami, karena posisi episenter tidak terletak pada daerah *megathrust*.

*Megathrust* merupakan lajur zona subduksi lempeng yang kedalamannya dangkal kurang dari 50 km. Bukan tidak mungkin suatu saat Provinsi Sumatra barat di guncang gempa bumi di sertai gelombang tsunami, khusus yang berada pada tepi barat Pesisir pantai Kota Padang yang berhadapan dengan zona sumber gempa bumi *Megathrust*.

Oleh karena itu gedung-gedung publik yang berada dekat dengan pesisir pantai harus dirancang kuat terhadap beban gempa dan tsunami, sebagai tempat perlindungan ketika terjadi bencana. Salah satu gedung publik yang berada dekat dengan pesisir pantai padang adalah gedung sentra rendang yang terletak di Jalan Flamboyan, Kelurahan Lubuk Buaya, Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang, daerah ini terletak Sekitar 2 Km dari pinggir pantai jambak.

Gedung sentra rendang ini terdiri dari 2 lantai menggunakan struktur beton bertulang. Struktur atap menggunakan dak beton dengan total ketinggian bangunan 8,6 meter. Gedung tersebut perlu di evaluasi kekuatan dan kinerjanya terhadap beban gempa dan tsunami sebagai tempat perlindungan bencana. Salah satu mitigasi bencana dengan membangun shelter, shelter merupakan fasilitas umum apabila terjadi bencana tsunami atau bencana lainnya bisa digunakan untuk tempat evakuasi [1].

Evaluasi terhadap gedung control room untuk melihat perilaku struktur akibat pembebanan dari beban tsunami. analisa rasio kapasitas pada seluruh elemen struktur terhadap beban tsunami untuk peraturan FEMA dan SNI menunjukkan bahwa hanya kolom K1 dengan kondisi tidak aman yang berjumlah 3 elemen kolom dengan nilai 1, yaitu 1,26 untuk FEMA dan 1,04 untuk SNI. Perilaku struktur berupa *story displacement* dan *story drift* yang diperoleh dari kedua peraturan masih aman dari kedua arah x dan y karena tidak melewati batas yang diizinkan [2].

Ketahanan gedung evakuasi vertikal di Desa Lambung dengan menambahkan gaya-gaya tsunami didalamnya. Berdasarkan hasil *displacement* dari beban gempa, maka *displacement* terbesar arah x dan y terdapat pada kombinasi 2, yaitu didapat nilai displacement terbesar arah x adalah 0,016235 m pada titik 441 dan pada arah y sebesar 0,05852 m pada titik 441. Sedangkan dari beban tsunami *displacement* terbesar arah x dan y didapat pada kombinasi 18, dengan nilai displacement terbesar arah x adalah 0,012513 m pada titik 232 dan pada arah y sebesar 0,213146 m pada titik 232. Dapat dilihat bahwa *displacement* terbesar terjadi akibat beban tsunami. Pada *displacement* struktur gedung masih aman terhadap beban gempa dan tsunami menurut SNI 1726-2012, akan tetapi pada simpangan antar lantai struktur gedung hanya aman terhadap beban gempa saja [3].

Assesmen keandalan bangunan beton bertulang yang berusia lebih dari 30 tahun. Hasil analisa struktur menunjukkan bahwa elemen kolom, balok dan pelat pada Struktur A, Struktur B, dan Struktur C tidak mampu menahan gaya momen, geser, dan *drift inter story* yang timbul akibat beban gempa yang timbul menurut persyaratan gempa pada SNI 1726:2019 [4]. Semakin kecil faktor modifikasi respon (R) akan menghasilkan simpangan struktur makin besar, kapasitas momen makin besar dan daktilitas makin kecil [5]. penambahan beban gempa berpengaruh terhadap kemampuan bangunan dalam hal kekuatan dan kinerja struktur [6].

Model keretakan yang terjadi di segmentasi Mentawai-Pagai ditemukan di kerak samudera. Energi yang dilepaskan dari gempa megathrust hanya sepertiga dari energi yang tersedia [7]. Badan Penanggulangan Bencana Nasional sedang berusaha membangun tempat

perlindungan bencana, agar menjadi alternatif utama bagi masyarakat untuk menyelamatkan diri saat terjadi gempa bumi dan tsunami [8].

Potensi gempa besar di Mentawai Megathrust bisa memicu tsunami yang mematikan. Tsunami dapat mencapai Kota Padang dalam waktu 20-30 menit. Dengan demikian, masyarakat di Kota Padang perlu segera dievakuasi baik ke tempat yang lebih tinggi maupun ke gedung-gedung tinggi yang berada di Kota Padang. Mencapai tempat yang lebih tinggi tidaklah mudah karena membutuhkan waktu dan terhambat oleh lalu lintas. Oleh karena itu, evakuasi vertikal ke gedung bertingkat sangat penting untuk dipelajari [9].

Bangunan shelter Nurul Haq tidak mampu memikul beban kerja, dimana elemen balok dan pondasi tidak memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban kerja, terutama beban gempa dan tsunami. Selanjutnya, bangunan shelter harus diretrofit sebelum digunakan sebagai bangunan evakuasi vertikal [10]. Beberapa jenis kerusakan yang terdeteksi pada struktur beton bertulang seperti keruntuhan karena tingkat lunak, kerusakan sambungan balok-kolom, kegagalan kolom pendek, kegagalan geser kolom, dan keruntuhan pasangan bata pengisi. Bangunan yang rusak berat memiliki indeks kekuatan lateral yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bangunan yang runtuh karena strukturnya mampu mempertahankan kekuatan lateral dalam deformasi yang besar [11]. Salah satu komponen struktural yang paling berpengaruh dalam keruntuhan suatu bangunan adalah sambungan balok-kolom. khususnya bangunan gedung beton bertulang adalah akibat kerusakan dari sambungan balok-kolom yang merupakan bagian struktur yang terpenting pada bangunan. semakin besar rasio tulangan yang digunakan maka semakin besar beban yang dapat ditahan balok. Pengaruh adanya variasi rasio tulangan dapat meningkatkan kapasitas baloknya, baik pakai sengkang maupun tanpa sengkang [12].

Dalam kejadian tsunami, jatuhnya korban dikarenakan terlambat menyelamatkan diri yang disebabkan terlambatnya *early warning* yang diinformasikan pihak terkait dan ketersediaan infrastruktur Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang minim [13] Pemerintah kota Padang belum memiliki kepastian dalam menentukan gedung yang memadai untuk tempat dan jalur evakuasi vertikal. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk memeriksa kelayakan existing building yang ada di kota Padang terhadap pengaruh beban gempa dan tsunami serta membuat Peta evakuasi vertikal terhadap tsunami [14].

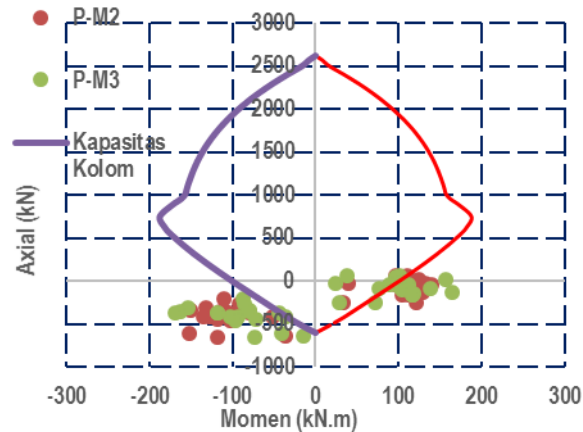
## B. Metode Penelitian

Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum dengan menggunakan *software* ETABS. Langkah-langkah dalam metode analisis ini yaitu pengumpulan data dan studi literatur. Memodelkan struktur bangunan secara 3D (tiga dimensi). Menghitung dan menginput beban-beban yang bekerja pada struktur. Menghitung respon spektrum bangunan dengan menggambarkan kurva respon spektrum gempa rencana untuk selanjutnya di input ke dalam pemodelan. Melakukan analisis untuk mendapatkan Kekuatan struktur kolom dan balok. Pada tahap terakhir peneliti melakukan kontrol kinerja struktur bangunan terhadap nilai displacement dan *story drift* untuk mengambil kesimpulan dari hasil analisis yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

## C. Hasil dan Pembahasan

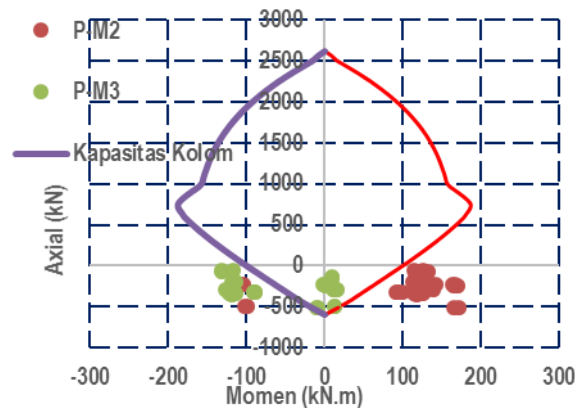
Diagram interaksi kolom adalah grafik area batas yang menunjukkan berbagai kombinasi beban aksial dan momen yang dapat ditahan oleh kolom dengan aman. Manfaat diagram interaksi kolom memberikan gambaran tentang kekuatan kolom yang bersangkutan [15]. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas kekuatan kolom pada lantai dasar tidak kuat, dilihat dari hubungan gaya axial dan momen yang bekerja pada semua kolom lantai dasar,

sebagian besar gaya gempa berada diluar grafik dari kapasitas kolom. Diagram interaksi untuk kolom lantai dasar disajikan pada Gambar 1.



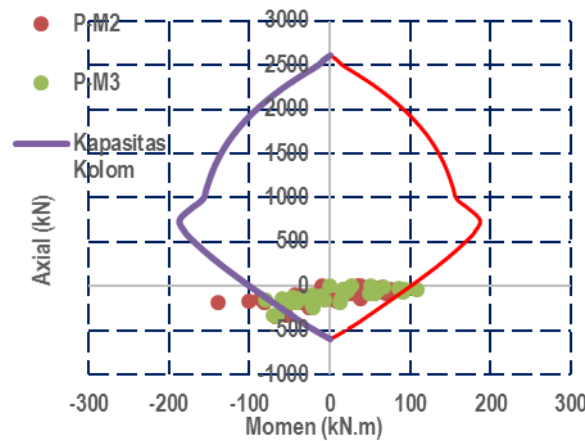
Gambar 1. Diagram interaksi kolom akibat beban gempa lantai dasar

Berdasarkan diagram interaksi kolom yang disajikan pada Gambar 2. Hasil analisis terhadap kolom struktur didapatkan bahwa kapasitas kekuatan kolom pada lantai dasar tidak kuat terhadap beban tsunami yang bekerja, dilihat dari hubungan gaya axial dan momen yang bekerja pada semua kolom lantai dasar, menunjukkan sebagian besar gaya tsunami berada diluar grafik dari kapasitas kolom.



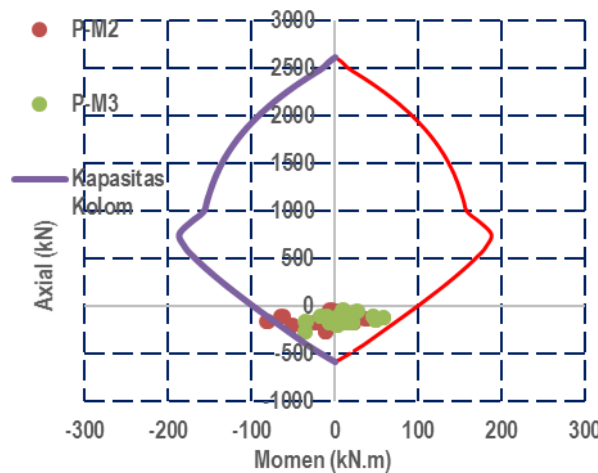
Gambar 2. Diagram interaksi kolom akibat beban tsunami lantai dasar

Berdasarkan diagram interaksi kolom yang disajikan pada Gambar 3. Hasil analisis terhadap kolom struktur didapatkan bahwa kapasitas kekuatan kolom pada lantai satu tidak kuat terhadap beban gempa yang bekerja, dilihat dari hubungan gaya axial dan momen yang bekerja pada semua kolom lantai satu, sebagian kecil gaya gempa masih berada diluar grafik dari kapasitas kolom.



Gambar 3. Diagram interaksi kolom akibat beban gempa lantai satu

Berdasarkan diagram interaksi kolom yang disajikan pada Gambar 4. Hasil analisis terhadap kolom struktur didapatkan bahwa kapasitas kekuatan kolom pada lantai satu tidak kuat terhadap beban tsunami yang bekerja, dilihat dari hubungan gaya axial dan momen yang bekerja pada semua kolom lantai satu, sebagian kecil gaya gempa masih berada diluar grafik dari kapasitas kolom.



Gambar 4. Diagram interaksi kolom akibat beban tsunami lantai satu

Berdasarkan hasil analisis kekuatan balok Pada lantai dasar, untuk tipe balok B1 dan B1-2 didapatkan hasil bahwa momen maksimum lebih besar dari kekuatan nominal balok, sehingga disimpulkan balok tidak kuat. Sedangkan untuk balok pada posisi lantai satu, balok dengan tipe B1 kekuatan nominal balok juga lebih kecil dari momen maksimum. Disimpulkan balok tidak kuat terhadap beban gempa, untuk analisis kekuatan balok terhadap beban gempa disajikan pada Tabel 1. Sedangkan data yang disajikan pada Tabel 2, didapatkan hasil untuk balok lantai dasar dan lantai satu baik untuk tipe B1 maupun B1-2, nilai momen nominal lebih besar dari momen maksimum yang bekerja. Disimpulkan balok kuat terhadap beban tsunami.

Tabel 1. Kekuatan balok terhadap beban gempa

Lantai	Tipe Balok	Dimensi Penampang	Posisi	ØMn (Kn)		Mu (Kn)		ØMn > Mu	
				Positif	Negatif	Positif	Negatif	Positif	Negatif
Dasar	B1	250x400	Tumpuan	93,3 1	53,33	138,7 1	61,0 9	Not Oke	Not Oke

Satu	B1-2	250x400	Lapangan	93,3	53,33	60,00	23,3	Oke	Oke
			Tumpuan	71,9	53,33	104,9	78,0	Not Oke	Not Oke
	B1	250x400	Lapangan	71,9	53,33	56,30	50,1	Oke	Oke
			Tumpuan	93,3	53,33	99,65	19,3	Not Oke	Oke
	B1-2	250x400	Lapangan	93,3	53,33	115,3	14,0	Not Oke	Oke
			Tumpuan	71,9	53,33	69,28	52,2	Oke	Oke
	B1-2	250x400	Lapangan	71,9	53,33	45,44	29,0	Oke	Oke
			Tumpuan	93,3	53,33	99,65	19,3	Not Oke	Oke

Tabel 2. Kekuatan balok terhadap beban tsunami

Lantai	Tipe Balok	Dimensi Penampang	Posisi	ØMn (Kn)		Mu (Kn)		ØMn > Mu	
				Positif	Negatif	Positif	Negatif	Positif	Negatif
Dasar	B1	250x400	Tumpuan	93,3	53,33	79,09	5,51	Oke	Oke
			Lapangan	93,3	53,33	29,13	4,21	Oke	Oke
	B1-2	250x400	Tumpuan	71,9	53,33	51,63	1,05	Oke	Oke
			Lapangan	71,9	53,33	27,66	11,05	Oke	Oke
Satu	B1	250x400	Tumpuan	93,3	53,33	58,00	9,21	Oke	Oke
			Lapangan	93,3	53,33	74,00	2,01	Oke	Oke
	B1-2	250x400	Tumpuan	71,9	53,33	30,77	4,25	Oke	Oke
			Lapangan	71,9	53,33	15,69	1,08	Oke	Oke

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.4.4, batasan nilai *displacement* antar lantai maksimum yang diijinkan akibat pengaruh beban gempa rencana adalah  $0,01 h_{sx} / \rho$  dimana  $h_{sx}$  adalah tinggi lantai dan  $\rho$  adalah faktor redundansi yang diperoleh berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1.1 adalah sebesar 1,3. Kontrol *displacement* antar lantai maksimum struktur gedung akibat pengaruh beban gempa dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk lantai dasar *Inelastic drift* pada sumbu X sebesar 72,05 mm lebih besar dari *drift limit* yang disyaratkan sebesar 35,38 mm, dan untuk lantai satu nilai *inelastic drift* terbesar pada sumbu X 64,62 mm besar dari drift limit 30,76 mm disajikan pada Tabel 3. Untuk beban tsunami *Inelastic drift* pada sumbu X sebesar 58,24 mm lebih besar dari drift limit yang disyaratkan sebesar 35,38 mm, dan untuk lantai satu nilai *inelastic drift* terbesar pada sumbu X 5,72 mm besar dari drift limit 30,76 mm disajikan pada Tabel 4.

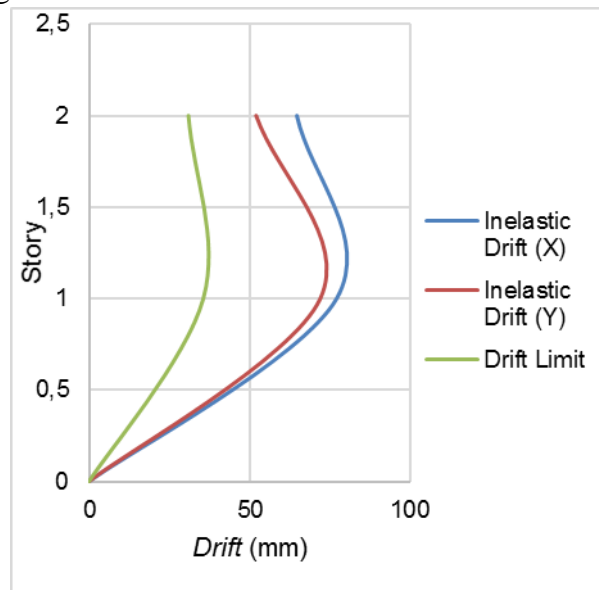
Tabel 3. Simpangan akibat beban gempa

Lantai	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta eX$ (mm)	$\delta eY$ (mm)	$\delta eX$ (mm)	$\delta eY$ (mm)		$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)		
satu	25,75	22,56	11,75	9,46	4000	64,62	52,03	30,76	NOT OK
dasar	14,00	13,10	14,00	13,10	4600	77,00	72,05	35,38	NOT OK
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	OK

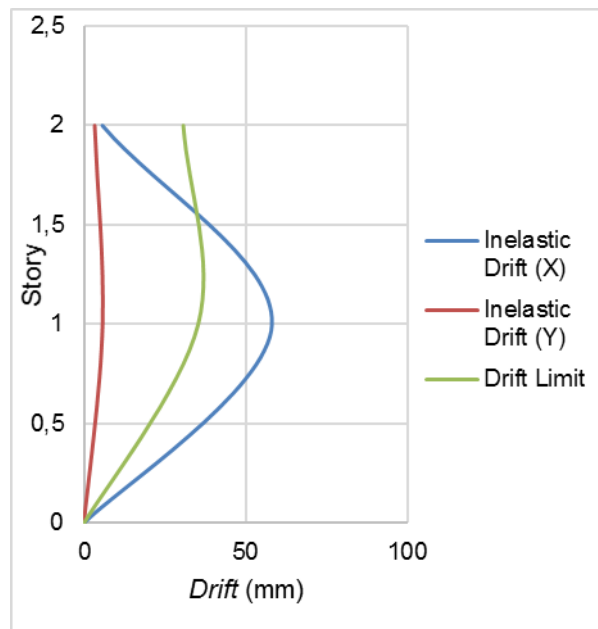
Tabel 4. Simpangan akibat beban tsunami

Lantai	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta eX$ (mm)	$\delta eY$ (mm)	$\delta eX$ (mm)	$\delta eY$ (mm)		$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)		
satu	11,63	1,62	1,04	0,59	4000	5,72	3,25	30,76	OK
dasar	10,59	1,02	10,59	1,02	4600	58,24	5,66	35,38	NOT OK
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	OK

Berdasarkan gambar 5 dan gambar 6, grafik yang menunjukkan hubungan antara ketinggian bangunan dan simpangan antar lantai, *inelastic drift* arah X dan arah Y melebihi *drift limit*. Menunjukkan bahwa terjadinya simpangan yang besar melebihi batas maksimum yang disyaratkan. Baik akibat beban gempa maupun beban tsunami. Ini disebabkan karena kekakuan struktur yang rendah.



Gambar 5. Story drift akibat beban gempa



Gambar 6. Story drift akibat beban tsunami

#### D. Penutup

Berdasarkan perhitungan kapasitas kekuatan struktur kolom, disimpulkan bahwa struktur kolom tidak kuat terhadap beban yang bekerja baik beban gempa maupun beban tsunami. Sedangkan pada struktur balok, balok induk tipe B1 dan tipe B1-2 pada posisi lantai dasar tidak kuat terhadap beban gempa yang bekerja. Sebaliknya untuk kedua tipe balok B1 dan B1-2 kuat terhadap beban tsunami. Berdasarkan tinjauan displacement pada arah X dan arah Y akibat beban gempa maupun beban tsunami tidak memenuhi syarat SNI-1726-2019 Pasal 7.12.1.1. Maka gedung sentra rendang tidak aman dijadikan tempat perlindungan bencana.

#### Daftar Pustaka

- [1] Yuhanah, Tri. "Konsep Desain Shelter Mitigasi Tsunami." Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta, vol. 6, no. 1, 2014, pp. 19-31, <https://doi.org/10.24853/jurtek.6.1.19-31>
- [2] Fitrah, Febri & Hasibuan, Purwandy & Mahlil, Mahlil. (2021). *Evaluasi Struktur Gedung Control Room Pt. Perta Arun Gas Terhadap Beban Tsunami*. Journal of The Civil Engineering Student. 3. 211-217. <http://dx.doi.org/10.24815/journalces.v3i3.17915>
- [3] Wahyuni, Sherlya & Idris, Yunita & Syamsidik, Syamsidik. (2021). *Identifikasi Ketahanan Struktur Gedung Evakuasi Di Desa Lambung Terhadap Beban Tsunami*. Journal of The Civil Engineering Student. 3. 183-189. <http://dx.doi.org/10.24815/journalces.v3i2.13036>
- [4] Simanjuntak, Meiborn. (2022). *Keandalan Struktur Beberapa Bangunan Gedung Beton Bertulang Di Wilayah Jabodetabek Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019*. Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur. 27. 52-64. <http://dx.doi.org/10.36728/jtsa.v27i1.1526>
- [5] Tangahu, Budi & Nur, Kasmah & Gani, Mirzan. (2019). *Analisis Pengaruh Faktor Modifikasi Respon SRPMK Struktur Gedung Beton Bertulang Pada Balok Kategori Desain Seismik D*. Jurnal Teknik. 17. 57-65. <http://dx.doi.org/10.37031/jt.v17i1.21>
- [6] Setiawan, Dimas & Handayani, Noviyanthi & Saputra, Norseta. (2021). *Evaluasi Struktur Gedung Pasca Sarjana IAIN Palangka Raya terhadap Potensi Gempa di Kota*



- Palangka Raya*. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*. 14. 63-68. <http://dx.doi.org/10.23917/dts.v14i2.16853>
- [7] Damayanti, Cahya & Yamko, Abdul & Souisa, Christian & Barends, Wempi & Leonardo, Iwan & Naroly, Pieter. (2020). *Pemodelan Segmentasi Mentawai-Pagai: Studi Kasus Gempa Megathrust di Indonesia*. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*. 1. 105-110. <http://dx.doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i2.56>
- [8] Ismail, F. A., Sunaryati, J., & Sahputra, D. E. (2020). *Optimum Structural Design of Self-Supported Shelter for Tsunami Evacuation in Padang City*. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 156, p. 05013). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015605013>
- [9] Ophiyandri, T. ., Istijono, B. ., Hidayat, B. ., & Yunanda, R. . (2022). *Readiness Analysis Of Public Buildings In Padang City For Tsunami Temporary Evacuation Shelter*. *GEOMATE Journal*, 22(94), 113–120. Retrieved from <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/3459>
- [10] Fauzan, Rina Yuliet, Abdul Hakam, & Helza Riani. (2019). *Structural Evaluation Of Nurul Haq Shelter Building Constructed On Liquefaction Prone Area In Padang City - Indonesia*. *GEOMATE Journal*, 17(59), 106–114. Retrieved from <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/269>
- [11] Maidiawati, Jafril Tanjung, Yasushi Sanada, Fajar Nugroho, & Syafrri Wardi. (2020). *Seismic Analysis Of Damaged Buildings Based On Postearthquake Investigation Of The 2018 Palu Earthquake*. *GEOMATE Journal*, 18(70), 116–122. Retrieved from <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/625>
- [12] Anggraini, Rita & Tanjung, Jafril & Sunaryati, Jati & Thamrin, Rendy & Aryanti, Riza. (2016). *Studi Eksperimental Perilaku Geser Balok Pada Sambungan Balok Kolom Beton Bertulang*. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*. 12. 25. <http://dx.doi.org/10.25077/jrs.12.1.25-38.2016>
- [13] Ghulam Rifqi, Mirza & Amin, M. & Sandi, Enes. (2019). *Rancang Bangun Tsunami Pods Sebagai Tempat Evakuasi Sementara (TES) Untuk Mewujudkan Wilayah Tangguh Bencana*. *Potensi : Jurnal Sipil Politeknik*. 21. 74-82. <http://dx.doi.org/10.35313/potensi.v21i2.1670>
- [14] Fauzan, Fauzan. (2011). *Evaluasi Existing Building Dan Pembuatan Peta Evakuasi Vertikal Terhadap Tsunami Di Kota Padang*. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*. 7. 29. <http://dx.doi.org/10.25077/jrs.7.2.29-39.2011>
- [15] Manguki, Indra & Tanijaya, Jonie & Sanggaria, Olan. (2021). *Analisis Kekuatan Kolom Beton Bertulang Berdasarkan Diagram Interaksi Kolom*. *Paulus Civil Engineering Journal*. 3. 125-134. <http://dx.doi.org/10.52722/pcej.v3i2.245>
- [16] Standar Nasional Indonesia. 2019. SNI 03-1726-2019 “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”, BSN, Jakarta, Indonesia.
- [17] Standar Nasional Indonesia. 2020. SNI 1727-2020 “Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung dan Bangunan lain”, BSN, Jakarta, Indonesia.
- [18] Standar Nasional Indonesia. 2019. SNI 2847-2019 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung”, BSN, Jakarta, Indonesia.
- [19] FEMA P-646/August 2019: *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuations from Tsunami Third Edition*.
- [20] Puskim PU. (2021). *Desain Spektra Indonesia*, diakses dari: <http://puskim.pu.go.id/peta-zonasi-gempa/>.