

Daya Keruntuhan Terhadap Gempa Berulang Pada Srpm Baja (Literatur)

Zukri Aulia Putra

¹Program Studi Teknik Sipil, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

zukriaulia@gmail.com

Abstrak

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Tidak jarang gempa datang secara berulang (gempa susulan) terkhusus wilayah Indonesia yang merupakan wilayah zona gempa. Oleh karena itu diperlukan struktur bangunan yang mampu meminimalisir resiko kerusakan akibat gempa terkhusus gempa yang datang secara berulang yang memberikan energi lebih besar dibandingkan dengan gempa tunggal. Pada tugas akhir ini direncanakan sebuah struktur dengan 4 lantai yang dimodelkan terhadap 1 jenis penskalaan rekaman gempa yaitu penskalaan MCE untuk analisis nonlinier. Dari hasil analisis yang di dapatkan dari hasil memodelkan struktur baja dengan kondisi tanah lunak (R8) terhadap gempa tunggal dan gempa berulang yang didapatkan nilai Incremental Dynamic Analysis nilai IDR dari gempa berulang lebih besar dari pada gempa tunggal, pada gempa tunggal memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ mendapatkan nilai $IDR = 0,114$ dan pada gempa berulang memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ menapatkan nilai $IDR = 0,145$. Hasil analisis juga menunjukkan nilai probabilitas $(CP) = 5\%$, $(LS) = 2,5\%$ dan $(IO) = 0.7\%$ yang diperoleh gempa berulang selalu memerlukan nilai $RSA(T1)$ yang lebih besar dari pada gempa tunggal untuk mencapai kondisi mendekati keruntuhan. sedangkan nilai probabilitas 10% memerlukan nilai $RSA(T1)$ yang lebih besar dari pada gempa berulang untuk mencapai kondisi keruntuhan.

Kata Kunci : *Incremental dynamic analysis, probability of collapse, baja.*

1. PENDAHULUAN

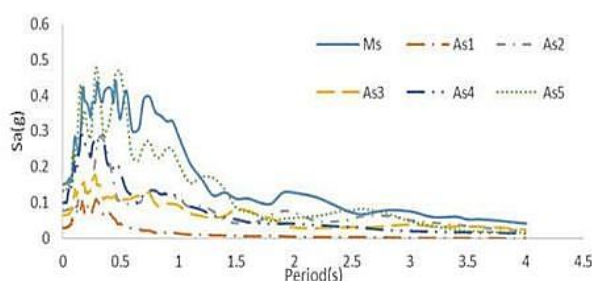
Indonesia berada pada kondisi geografis pertemuan 2 lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Australia yang mengakibatkan seringnya terjadi gempa dengan intensitas kecil maupun besar akibat dari pergeseran dari kedua lempeng tersebut. Akibat daripada itu diperlukan bangunan-bangunan gedung yang fleksibel yang sangat dibutuhkan di wilayah area rawan gempa. Dengan kondisi geografis yang seperti itu letak suatu gedung bisa saja berada tepat dilokasi patahan dan bisa saja berjauhan dari lokasi patahan yang mengakibatkan berbedanya respon gempa yang diterima oleh suatu gedung. Disamping itu gedung tersebut bisa saja mengalami kegempaan yang lebih dari sekali (gempa berulang) pada rentang umur layannya (50 tahun). Dengan kondisi seperti ini bangunan gedung dengan material baja lebih sesuai dibandingkan dengan material beton.

Gempa berulang bisa saja terjadi tak lama setelah gempa awal berlangsung yang dapat memberikan kerusakan lebih lanjut bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan pada struktur bangunan. Pada beberapa kasus intensitas gempa berulang sering kali lebih besar daripada gempa awal yang mengakibatkan kemungkinan runtuhnya suatu struktur semakin besar. Tabel 1 menunjukkan sejumlah kejadian-kejadian gempa yang berulang pada 1 lokasi. Tampak bahwa magnituda antara dua (atau lebih) gempa tidak terlalu jauh perbedaannya.

Tabel 1.1: Contoh kejadian gempa yang berulang terjadi pada satu lokasi (Abdollahzadeh, 2017)

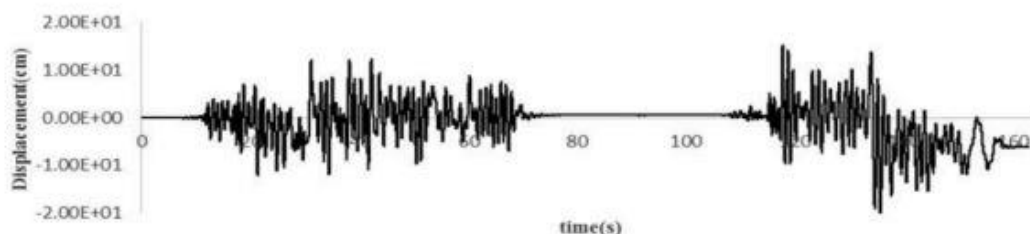
Earthquake name	Date	Time	M_w	Number of selected records
Hollister	4/9/61	7:23	5.6	1
	4/9/61	7:25	5.5	
Whittier Narrows	10/01/87	14:42	6.0	2
	10/04/87	10:59	5.3	
Irpinia, Italy	11/23/80	19:34	6.9	1
	11/23/80	19:35	6.2	
Livermore	1/27/80	19:00	5.8	1
	1/29/80	02:33	5.4	
Chi-Chi, Taiwan	9/20/99	9:20	7.6	28
	9/20/99	17:57	5.9	
	9/20/99	18:03	6.2	
	9/22/99	00:14	6.2	
	9/25/99	23:52	6.3	

Gambar 1.1 menjelaskan respon spektrum rekaman percepatan gempa yang terjadi berulang kali pada satu lokasi, yaitu Gempa Chi-Chi (Taiwan) yang terekam.



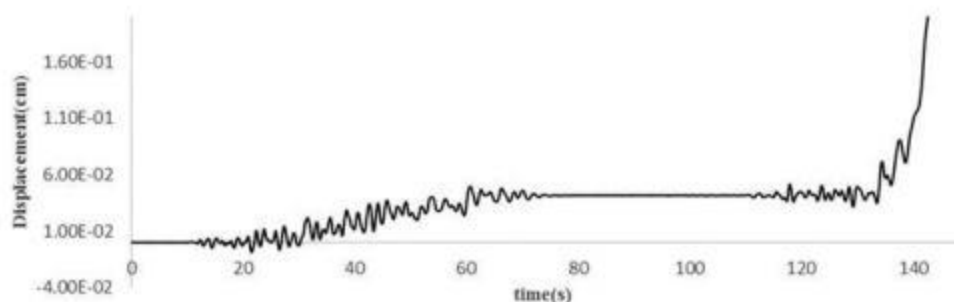
Gambar 1.1: Spektrum respon percepatan rekaman gempa Chi-Chi pada stasiun Chy088 yang terjadi berulang kali dalam rentang waktu dari 20-25 September 1999 (Abdollahzadeh, 2017)

Gambar 1.2 menjelaskan respon struktur baja 4 lantai terhadap dua gempa yang terjadi berulang pada kasus Gempa Chi-Chi pada tahun 1999. Tampak bahwa pada getaran simpangan mengalami perubahan garis baseline akibat gempa yang kedua. Hal ini menunjukkan struktur baja tersebut mengalami sendi plastis yang cukup signifikan akibat getaran gempa yang kedua.



Gambar 1.2: Displacement time-history response 4 lantai metode PBD terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113 (Abdollahzadeh, 2017).

Pada Gambar 1.3 tampak jelas struktur baja 8 lantai mengalami keruntuhan akibat gempa yang kedua. Hal ini ditunjukkan oleh grafik simpangan yang secara drastis naik ke atas dan terputus.



Gambar 1.3: Displacement time-history response 8 lantai metode ED terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113 (Abdollahzadeh, 2017).

Dari hasil perencanaan pada pemodelan Struktur Baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana cara merencanakan struktur gedung baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) bila mengalami gempa berulang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan terhadap 3 model dengan sistem rangka pemikul momen. Ketiga model bangunan tersebut dianalisis secara Linear dan Non-Linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (Response Spectrum Analysis) dengan menggunakan Program Analisa Struktur serta Analisis Riwayat Waktu (Time History Analysis) dengan menggunakan software RUAUMOKO versi 04, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal dan berulang. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan untuk setiap modelnya.

3. HASIL

Hasil Analisa Linier

Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS. Syarat : SRSS > 15% , CQC < 15%

Analisa menggunakan metode CQC (Complete Quadratic Combination), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan SRSS (Square Root of the Sum of Square) lebih besar dari 15%. Pada hasil analisa diperoleh hasil model struktur 4 lantai didapat 12 mode dan hasil persentase nilai prioda lebih banyak di bawah 15% Untuk perhitungan tertera pada lampiran A3

Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V_1}{V_t} \geq 1$$

Dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V_1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur V_t .

Struktur	Arah Gempa	V_1 (KN)	V_t (KN)
Model 1	Gempa X (R=8)	3289,28	2876,54

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

Koreksi Faktor Redundansi

Berdasarkan faktor redundansi nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Dari hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar.

Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat.

Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

Berdasarkan SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (soft story) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen

kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan di atas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami Soft Story.

Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai stability ratio lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai stability ratio dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek p-delta dapat diabaikan jika syarat stability ratio sudah terpenuhi.

Hasil Analisa Non Linier

Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis yang di lakukan pada satu mode struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva kerapuhan struktur sebagai metode dalam asasmen kerapuhan seismik. Hasil IDA menggunakan 28 set rekaman gempa untuk model 4 lantai. Grafik IDA adalah hasil dari interstory drift Ratio.

Interstory Drift

Jika masing-masing node mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut dapat menghasilkan simpangan antar tingkat. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh kekakuan dari struktur tersebut. Tabel 4.3 dan 4.4 menunjukkan perbedaan nilai simpangan antar tingkat gempa tunggal dan gempa berulang untuk pemodelan lantai 4. Secara keseluruhan, nilai simpangan antar tingkat pada gempa tunggal lebih kecil dari nilai simpangan antar tingkat yang terjadi pada gempa berulang. Hal ini dapat kita pahami dikarenakan gempa berulang mengandung percepatan yang lebih besar dari pada gempa tunggal. Dan juga untuk gempa berulang akan memberikan dampak yang lebih terhadap struktur dibandingkan gempa tunggal.

Tabel 4.3 : Nilai perbandingan interstory drift untuk pemodelan 4 lantai faktor R=8 dengan acuan gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung fling, pulse dan nopulse.

Struktur	T (s)	Gempa tunggal (m)	Gempa berulang (m)
4 Lantai	1.62	0.1219	0.1632

Tabel 4.4 : Nilai persentasi perbandingan interstory drift untuk masing- masing model untuk R=8 dengan acuan gempa tunggal yang mengandung fling, pulse dan nopulse.

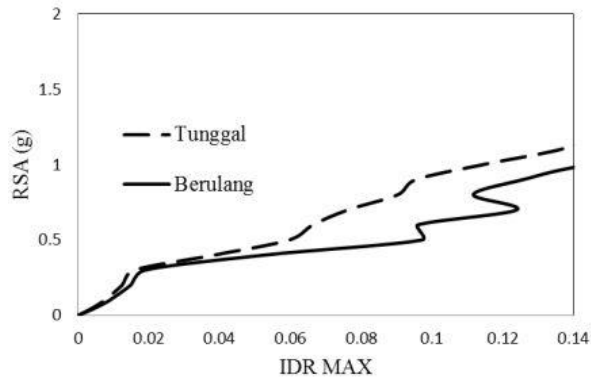
Struktur	T (s)	Gempa tunggal (%)	Gempa berulang (%)
4 Lantai	1.62	100%	133.66

4. PEMBAHASAN

Pengaruh Gempa Tunggal dan Gempa Berulang

Nilai rata-rata grafik IDA pada gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung fling, pulse, dan regular terhadap pemodelan struktur 4 lantai

memiliki nilai IDR dari gempa berulang lebih besar dari pada gempa tunggal, pada gempa tunggal memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ mendapatkan nilai $IDR = 0,114$ dan pada gempa berulang memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ menapatkan nilai $IDR = 0,145$ lihat pada gambar 4.1.

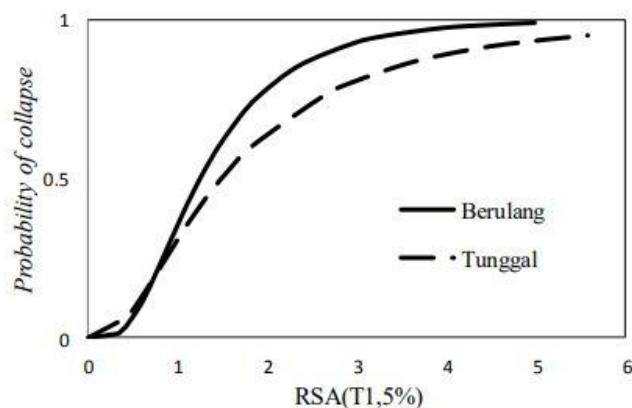


Gambar 4.1: Grafik IDA perbandingan gempa tunggal dan gempa berulang terhadap model struktur 4 lantai dengan faktor $R=8$.

Dari gambar 4.1 dapat dilihat pada gempa berulang memiliki nilai $RSA(T1)$ lebih kecil dari pada gempa tunggal tetapi gempa berulang memiliki IDR lebih besar dari pada IDR gempa tunggal hal ini di akibatkan oleh perbedaan nilai percepatan gempa akibat jumlah dari rekaman gempa berulang adalah penggabungan 2 gempa tunggal menjadi satu dalam satu rekaman gempa.

Analisis Probability of Collapse

Dari proses Incremental Dynamic Analysis (IDA) didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisa probabilitas keruntuhan struktur gedung terhadap nilai RSA. Kurva kerapuhan dari gempa tunggal dan gempa berulang terhadap model struktur 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi grafik yang di dapat maka semakin kecil nilai $RSA(T1)$ yang di butuh kan untuk mencapai nilai Probability of collapse = 10% atau 0,1. Lihat Gambar 4.2.

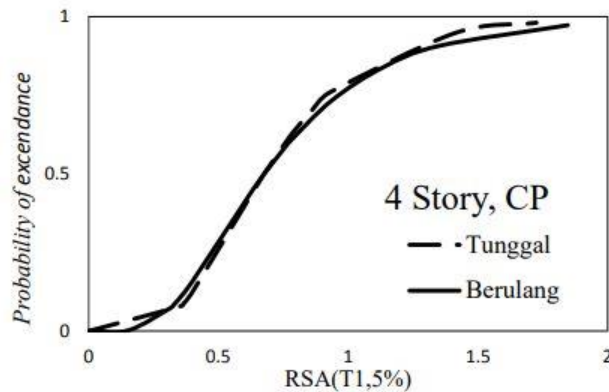


Gambar 4.2 Grafik kurva kerapuhan 10% (Collapse) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor $R=8$

Dari grafik 4.2 dapat dilihat pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai untuk mencapai nilai Probability of collapse = 0,1 atau

10 % memiliki $RSA(T1.5\%)$ yang tidak sama, dimana gempa tunggal memiliki nilai 47 $RSA(T1.5\%)$ yang lebih besar di dibandingkan dengan gempa berulang untuk mencapai Probability of collapse = 10%

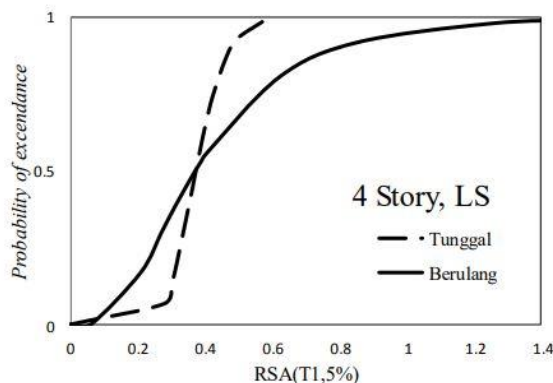
Nilai pada Probability of excendance = 5% atau 0.05 (collapse prevention) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai. Lihat gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik kurva kerapuhan 5% (collapse prevention) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

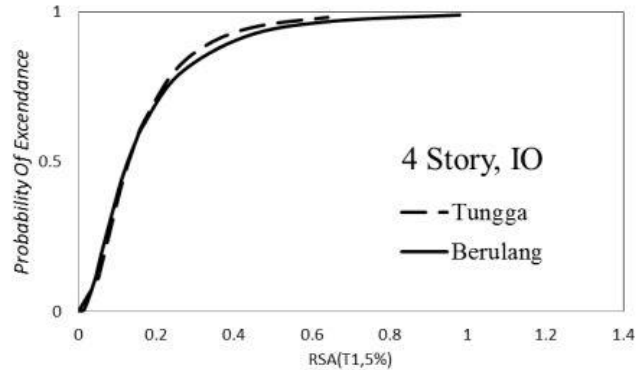
Dari grafik 4.3 dapat di lihat nilai dari $RSA(T1.5\%)$ dari kedua gempa yaitu tunggal dan gempa berulang yang di butuhkan untuk Probability of excendance = 5% atau 0.05 tidak jauh berbeda dimana gempa berulang memiliki $RSA(T1.5\%)$ yang lebih besar di dibandingkan gempa tunggal, artinya pada gempa berulang membutuhkan $RSA(T1.5\%)$ yang lebih besar untuk mencapai nilai Probability of excendance = 5% atau 0.05.

Nilai pada grafik kurva kerapuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang yang di butuhkan untuk mencapai Probability of excendance = 2,5% atau 0.025 (life safety) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai memiliki perbedaan yang jauh pada $RSA(T1.5\%)$ dimana gempa tunggal memiliki $RSA(T1.5\%)$ yang lebih kecil untuk mencapai Probability of excendance = 2,5% atau 0.025 dibandingkan dengan gempa berulang Lihat gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik kurva kerapuhan 2,5% (life safety) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

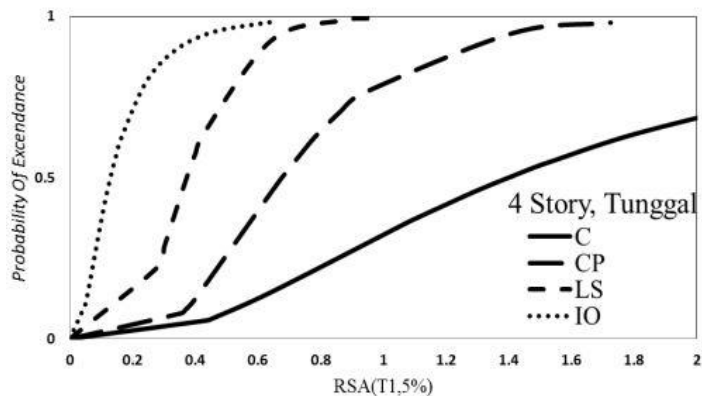
Nilai pada Probability of exccendance = 0,7% atau 0.007 (immediately ocupancy) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai. Lihat gambar 4.3.



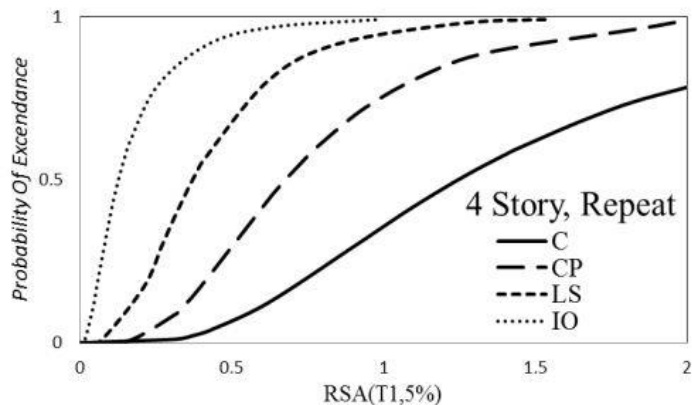
Gambar 4.5 Grafik kurva kerapuhan 0,7% (immediately ocupancy) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

Perbandingan kurva fragility

Pada perbandingan kurva fragility ini melihatkan perbedaan pada collapse (C), collapse prevention ,(CP),life safety (LS), dan immediately ocupancy (IO) dalam tiap gempa tunggal dan gempa berulang.



Gambar 4.6 Grafik kurva kerapuhan dengan collapse (C), collapse prevention (CP), life safety (LS), dan immediately ocupancy (IO) pada gempa tunggal dan terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8



Gambar 4.7 Grafik kurva kerapuhan dengan collapse (C), collapse prevention (CP), life safety (LS), dan immediately occupancy (IO) pada gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

Kondisi Keruntuhan Struktur

Nilai keruntuhan struktur menurut FEMA 2000 untuk collapse (C) = 10%, collapse prevention (CP) = 5%, life safety (LS) = 2,5% dan immediately occupancy (IO) = 0.7%. Lihat tabel 4.5 SNI (1726 : 2012) untuk kategori resiko I dan II adalah 10 %, dan kondisi mendekati keruntuhan adalah 2 %. Lihat tabel 4.5 dan tabel 4.6.

Tabel 4.5: Nilai RSA(T1) untuk kondisi keruntuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang

Kondisi Keruntuhan	TUNGGAL	BERULANG 2 KALI
	RSA(T1)	RSA(T1)
10%	0.924	1.056
5%	0.454	0.669
2,5%	0.34	0.372
0.7%	0.092	0.128

Dari tabel 4.5 dapat di lihat nilai keruntuhan menurut FEMA 2000 dengan keruntuhan 10%, 5%, 2,5% dan 0.7% pada gempa berulang memiliki nilai RSA(T1) yang paling besar dari gempa tunggal. Pada gempa tunggal 5% mengalami penurunan yang besar dari pada gempa berulang, tetapi gempa tunggal di kondisi keruntuhan 10%, 2,5%, 0,7% memiliki nilai RSA(T1) yang tidak terlalu jauh beda.

Median Kurva Kerapuhan

Nilai median yang telah diperoleh dari analisis kurva kerapuhan collapse (C) = 10%, collapse prevention (CP) = 5%, life safety (LS) = 2,5% dan immediately occupancy (IO) = 0.7% lihat padagempa tunggal dan gempa berulang. Lihat tabel 4.6:

Tabel 4.6: Nilai RSA(T1) untuk nilai median Probability of collapse (50%) pada struktur 4 lantai.

Kondisi Keruntuhan	TUNGGAL	BERULANG
	RSA(T1,5%)	RSA(T1,5%)
10%	1.487	1.247
5%	0.675	0.676
2,5%	0.373	0.371
0.7%	0.129	0.127

Pada table 4.7 terlihat bahwa nilai median pada kondisi keruntuhan pada gempa tunggal memiliki nilai RSA(T1,5%) yang lebih tinggi di dibandingkan dengan gempa berulang untuk mencapai Probability of collapse = 0,5. Kondisi keruntuhan 10% memiliki nilai yang signifikan lebih tinggi dengan nilai yang lain selisih nilai RSA(T1,5%) sebesar 0.2 dibandingkan dengan kondisi keruntuhan 5%, 2,5%, 0,7% selisih nilai RSA (T1,5%) sebesar 0.02.

5. KESIMPULAN

Dari studi ini diperoleh kesimpulan bahwa Menurut hasil analisis Incremental Dynamic Analysis perilaku struktur bila terkena gempa tunggal dan gempa sebagai berikut: a. Gempa berulang memberikan nilai IDR yang lebih besar dari pada gempa gempa tunggal. b. Nilai RSA(T1) pada gempa berulang lebih kecil dari pada Nilai RSA(T1) pada gempa tunggal, tetapi nilai IDR pada gempa berulang lebih besar dari pada nilai IDR pada gempa tunggal.

Menurut hasil analisis, diperoleh probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK baja bila terkena gempa tunggal dan gempa berulang a. Untuk kondisi keruntuhan (IDR = 10%) menurut FEMA 2000, nilai RSA(T1) yang didapat pada gempa tunggal memerlukan nilai RSA(T1) yang lebih besar dari pada gempa berulang untuk mencapai kondisi keruntuhan. b. Untuk kondisi mendekati keruntuhan (IDR = collapse prevention (CP) = 5%, life safety (LS) = 2,5% dan immediately occupancy (IO) = 0.7%) menurut FEMA 2000, nilai RSA(T1) yang didapat gempa berulang selalu memerlukan nilai RSA(T1) yang lebih besar dari pada gempa tunggal untuk mencapai kondisi mendekati keruntuhan.

REFERENSI

- Abdollahzadeh, G., Mohammadgholipour, A., & Omranian, E. (2018). Seismic evaluation of steel moment frames under Mainshock–aftershock sequence designed by elastic design and PBD methods. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-24.
- Amiri, S., & Bojórquez, E. (2019). Residual displacement ratios of structures under mainshock-aftershock sequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121, 179-193.
- ANSI, A. (2012). *AISC Seismic Design Manual*. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago.
- Dosen, F. Z. J., & Dosen, M. Z. S. J. (2016). The Innovative Performance of Polymer Modified Cement Systems for Use in Infrastructure Applications. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*, 1(1).
- Faisal, A., Denny, M. H., & Johannes, T. (2015). Pengaruh getaran gempa yang mengandung efek pulse dan tanpa mengandung pulse pada struktur tidak simetris sebidang. *Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Faisal, A., Majid, T. A., & Hatzigeorgiou, G. D. (2013). Investigation of story ductility demands of inelastic concrete frames subjected to repeated earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 44, 42-53.
- Faisal, A. (2014). Catatan Kuliah MK Vibrasi dan Teori Gempa. *Medan: UMSU*.
- Faisal, A. (2019). Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T Dan U Akibat Gempa. *Progress In Civil Engineering Journal*, 1(1), 63-73.
- Faisal, A. (2019). Influence of repeated earthquakes on the ductility demand of inelastic RC buildings. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*.
- Faisal, A. (2019). Studi parametrik kinerja dinding pengisi bata merah pada struktur beton bertulang akibat beban gempa. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*, 9(2).
- Faisal, A. (2020). Evaluasi jarak aman antara struktur SRPM tinggi dengan struktur SRPM disebelahnya terhadap gempa. *KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN*.
- Frapanti, S. (2018). Studi perhitungan kekakuan portal dinding bata pada bangunan bertingkat dari beberapa negara dengan pushover. *Educational Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 4(1 JUNI), 1-10.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.

- Flores, F. X., Charney, F. A., & Lopez-Garcia, D. (2014). Influence of the gravity framing system on the collapse performance of special steel moment frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 101, 351-362
- Harahap, M., Siregar, G., & Riza, F. V. (2021). Mapping The Potential Of Village Agricultural Social Economic Improvement Efforts In Lubuk Kertang Village Kecamatan Berandan Barat Kabupaten Langkat. *JASc (Journal of Agribusiness Sciences)*, 4(1), 8-14.
- Riza, F. V., Rahman, I. A., & Zaidi, A. M. A. (2011). Preliminary study of compressed stabilized earth brick (CSEB). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 6-12.
- Sri¹, F., Zulkarnain¹, F., & Asfiati¹, S. (2020). *The Comparison of Brick as a Load and a Structure with Non-Linear Analysis of Soft Storey Behaviour in Multi-storey Buildings* (No. 4387). EasyChair.
- Zulkarnain, F. (2021). [BUKU] Pemindahan Tanah Mekanis dan Peralatan Konstruksi. *KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN*.