

# Kinerja Deformasi Pada Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Baja Terhadap Gempa Berulang

RIDHO AL FANDI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan  
Jl. Mughtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

[ridhoalfandy@gmail.com](mailto:ridhoalfandy@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. Dalam hal tersebut struktur baja sangat direkomendasikan karena struktur baja lebih elastis dibandingkan dengan struktur beton bertulang. Pada tugas akhir ini direncanakan sebuah struktur dengan 4 lantai yang dimodelkan terhadap 4 jenis penskalaan rekaman gempa yaitu penskalaan DBE dan MCE untuk analisis linier dan analisis non linier. Dari hasil analisis yang didapatkan dari hasil memodelkan struktur baja dengan kondisi tanah lunak (R8) terhadap gempa tunggal dan gempa berulang didapatkan nilai interstory drift dimana hasil penskalaan MCE lebih besar dibandingkan dengan nilai penskalaan DBE dan gempa berulang lebih dominan dibandingkan gempa tunggal dari tiap penskalaan. Hasil analisis juga didapatkan nilai simpangan inelastik dimana rasio penskalaan DBE untuk gempa tunggal adalah 2,1226 dan untuk gempa berulang adalah 2,3298. Nilai rasio simpangan inelastik untuk penskalaan MCE untuk gempa tunggal adalah 2,3061 dan untuk gempa berulang adalah 2,2878.*

**Kata Kunci:** Gempa bumi, gempa berulang, baja.

# PERFORMANCE OF DEFORMATION ON STEEL MOMENT FRAME AGAINST REPEATED EARTHQUAKES

## ABSTRAK

*Earthquakes are natural phenomena caused by the release of elastic rock energy in the lithosphere. It's not uncommon a earthquake's come repeatly (after shock) especially Indonesian region which is earthquake zone. Therefore, structure that is able to minimize earthquake damage especially earthquakes come repeatedly which provide greater energy than a single earthquake. In this case, steel structures are highly recommended because steel structures are more elastic than reinforced concrete structures. In this final project, a 4-story structure is designed to be modeled against 4 types of earthquake recording scaling, namely DBE and MCE scaling for linear analysis and non-linear analysis. From the analysis results obtained from the results of modeling steel structures with soft soil conditions (R8) against single earthquakes and repeated earthquakes, the value of interstory drift is obtained where the MCE scaling value is greater than the DBE scaling value and repeated earthquakes are more dominant than a single earthquake from each scaling. The analysis results also obtained inelastic deviation value where the DBE scaling ratio for a single earthquake is 2.1226 and for repeated earthquakes is 2.3298. The inelastic deviation ratio value for the MCE scaling for a single earthquake is 2.3061 and for repeated earthquakes is 2.2878..*

**Keywords:** earthquake, repeated earthquakes, steel

## 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 sangat dibutuhkan di wilayah area rawan gempa dan juga struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen guna memaksimalkan kinerja daripada balok, kolom dan sambungan. Penggunaan Sistem Rangka Pemikul Momen agar meminimalisir momen yang terjadi pada elemen akibat gaya 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.

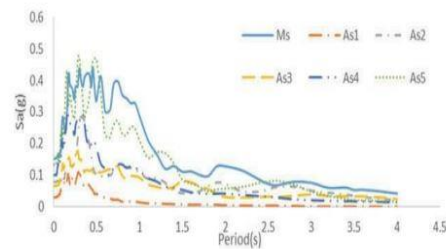
Gempa berulang bisa saja terjadi tidak lama setelah gempa awal berlangsung yang dapat memberikan kerusakan lebih lanjut bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan pada struktur bangunan. Pada beberapa kasus intensitas gempa berulang sering kali lebih besar daripada gempa awal yang mengakibatkan kemungkinan runtuhnya suatu struktur semakin besar. Tabel 1.1 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 dkk. 2017).

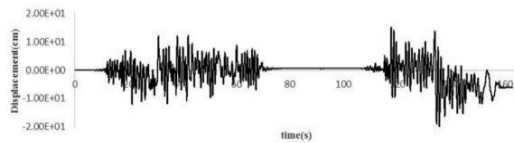
Earthquake name	Date	Time	$M_w$	Number of selected records
Hollister	4/9/61	7:23	5.6	1
	4/9/61	7:25	5.5	
	10/01/87	14:42	6.0	
Whittier Narrows	7/10/04/8	10:59	5.3	2
	11/23/80	19:34	6.9	
	11/23/80	19:35	6.2	
Irpina, Italy	1/27/80	19:00	5.8	1
	1/29/80	02:33	5.4	
	9/20/99	9:20	7.6	
Chi-Chi, Taiwan	9/20/99	17:57	5.9	28
	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 pada stasiun Chy088.



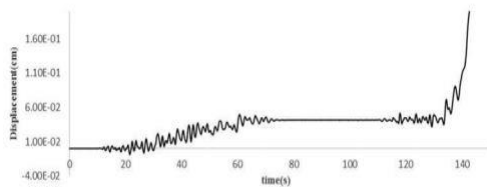
Gambar 1.1: Spektrum respon percepatan rekaman gempa Chi-Chi pada stasiun Chy088 yang terjadi berulang kali dalam rentang waktu dari 20-25 September 1999 (Abdollahzadeh dkk. 2017).

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 gempayang kedua. Hal ini menunjukkan struktur baja tersebut mengalami sendi plastis yang cukup signifikan akibat getaran gempa yang kedua.



Gambar 1.2: Respon spektrum perpindahan 4 lantai metode PBPD terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113 (Abdollahzadeh dkk. 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: Respon spectrum perpindahan 8 lantai metode ED terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113 (Abdollahzadeh dkk. 2017).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Gempa Bumi

Gempa bumi (earth quake) adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas (Siswanto dan Afif, 2018). Gerakan atau getaran tanah yang terjadi akibat gempa disebabkan oleh terlepasnya timbunan energi yang tersimpan di dalam bumi secara tiba-tiba. Energi yang terlepas ini dapat berbentuk energi potensial, energi kinetik, energi kimia, atau energi regangan elastis. Pada umumnya gempa-gempa yang merusak lebih banyak diakibatkan oleh terlepasnya energi regangan elastis di dalam batuan (rock) di bawah permukaan bumi. Energi gempa ini merambat ke segala arah. dan juga ke permukaan tanah sebagai gelombang gempa (seismic wave), sehingga akan menyebabkan permukaan bumi bergetar.

### Respon Spektrum

Menurut teori dinamika struktur (structural dynamics) salah satu cara untuk menentukan/menghitung simpangan, gaya-gaya dinamik pada struktur derajat kebebasan banyak (Multi Degree of Freedom, MDOF) adalah dengan menggunakan metode respon spektrum. Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur  $T$ , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu (Pawirodikromo, 2012). Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (Spectral Displacement, SD), kecepatan maksimum (Spectral Velocity, SV) atau percepatan maksimum (Spectral Acceleration, SA) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (Single Degree of Freedom, SDOF). Terdapat 2 macam respon spektrum yang ada yaitu Respon Spektrum elastik dan Respon Spektrum inelastik. Respons spektrum elastik adalah suatu spektrum yang didasarkan atas respons elastik struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu. Inelastik Respons Spektrum juga disebut desain Respons Spektrum, yaitu spektrum yang diturunkan berdasarkan elastic respons spectrum dengan tingkat daktilitas tertentu.

### Gempa Dekat

Gempa dekat adalah suatu respon tanah akibat dari aktivitas gempa pada suatu daerah yang tercatat dan dihitung pada stasiun gempa yang dekat dengan epicenter/pusat gempa tersebut (Pawirodikromo, 2012). Pawirodikromo menyatakan bahwa Kalkan dkk. (2004) memberikan

batasan bahwa rekaman gempa near-fault adalah gempa yang direkam  $\leq 15$  km dari patahan (fault rupture), Stewart dkk. (2001) membuat defenisi bahwa gempa near-fault umumnya adalah gempa-gempa anara 20-60 km dari pusat gempa, Wang dkk. (2006) memaknai near fault earthquake adalah gempa-gempa yang direkam pada jarak  $\leq 90$  km, Martinez-Pereira dan Bomber (1998) dalam Meniatakis dkk (2008) mengatakan bahwa near fault dimaknai sebagai suatu daerah dari pusat gempa sampai daerah yang intensitas gempa  $IMM \geq VIII$ . Untuk daerah yang intensitas  $IMM < VIII$  maka gempa near fault kurang memberikan efek yang signifikan. Pawirdikromo (2012) menyatakan juga bahwa Stewart dkk. (2001) mengatakan bahwa gerakan tanah (grounds motion) akibat gempa near fault utamanya akan dipengaruhi 3 hal pokok yaitu :

- a. Mekanisme gempa (gempa titik, gempa garis/fault).
- b. Arah rambatan patahan (rupture direction) relative terhadap site/pencatat.
- c. Kemungkinan terjadinya permanent displacement akibat patahan.

Gempa near fault dapat dibedakan berdasarkan data rekamannya yaitu gempa pulse dan gempa fling. Efek pulse ialah salah satu jenis efek pada getaran yang dimiliki oleh getaran gempa dekat (near-fault), yang ditandai dengan adanya efek lonjakan yang bersifat monotonik. Efek lainnya yang dimiliki oleh getaran gempa dekat adalah efek fling step, dimana simpangan yang terjadi jauh dari titik nol setelah terjadinya sebuah lonjakan simpangan yang besar (Faisal dkk. 2015).

### **Gempa Jauh**

Pada umumnya gempa jauh (far-field) memiliki percepatan yang lebih kecil, frekuensi yang lebih rendah, impulsif, fluktuatif, respons tanah/batuan dan redaman yang kecil. Karena ground motion acceleration history,  $A$  mempunyai frekuensi getaran yang lebih tinggi daripada velocity maka ground acceleration beraturuasi lebih cepat daripada ground velocity,  $V$ . Dengan kondisi seperti ini maka gempa jarak jauh mempunyai  $A/V$  rasio yang lebih rendah daripada gempa jarak-jarak dekat. Menurut Song dkk. (2016) kegiatan kegempaan tidak jarang terjadi gempa susulan, pada umumnya intensitas gempa susulan tidak sebesar gempa awal namun dapat merusak struktural yang tampak tidak rusak akibat guncangan pertama. Gempa susulan (after shock) memiliki kemungkinan percepatan tanah puncak (Peak Ground Acceleration) yang lebih tinggi, durasi yang lebih lama dan pelepasan energi yang berbeda dengan gempa awal (main shock).

### **Karakteristik Bangunan Tahan Gempa**

Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa menurut Budiono dan Supriatna (2011) adalah:

1. Apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, genting dan langit-langit jatuh, kaca pecah dan sebagainya) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dan lainnya).
2. Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-

strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.

3. Apabila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi ketempat aman.

Sulit untuk menghindari kerusakan bangunan akibat gempa, bila digunakan perencanaan konvensional, karena hanya bergantung pada kekuatan komponen struktur itu sendiri, serta perilaku respon pasca elastisnya. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam perencanaan bangunan tahan gempa telah dikembangkan suatu pendekatan disain alternatif untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan saat terjadi gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non-struktural terhadap gempa kuat.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan tingkat keamanan memadai, struktur harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Struktur harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan.

#### **Sistem Rangka Pemikul Momen**

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekuatan lateral,

khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Umumnya SRPM cukup efektif dipakai sampai < 25 tingkat. Hal paling penting, struktur rangka harus didesain berperilaku strong-colum weak-beam untuk memastikan tidak terjadi sendi plastis di kolom, yang dapat menyebablam story mechanism. Jenis sambungan kolom-balok yang dapat dipakai di rangka SMF harus didukung data empiris hasil uji laboratorium, yang membuktikan bahwa jenis sambungan tadi mempunyai kemampuan daktilitas yang cukup, yaitu dapat bertahan sampai perputaran sudut interstory-drift minimum sebesar 0.04 radian (AISC 2005).

#### **METODE PENELITIAN**

Analisis dilakukan terhadap 1 model dengan sistem rangka pemikul momen khusus pada bagian luar dan sistem rangka pemikul gravitasi pada bagian dalam. 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 antar tingkat (interstory drift) dan simpangan atap (top displacement) ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal dan gempa berulang. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan dengan dengan gempa di hasilkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 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 4 lantai didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.

#### Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (Vt) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V1}{Vt} \geq 1$$

dimana:

V1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

Vt = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V1) dan Nilai gaya geser dasar nominal

analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur Vt .

Struktur	Arah Gempa	V <sub>i</sub> (KN)	V <sub>t</sub> (KN)
Lantai 4	Gempa X	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

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.

#### Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

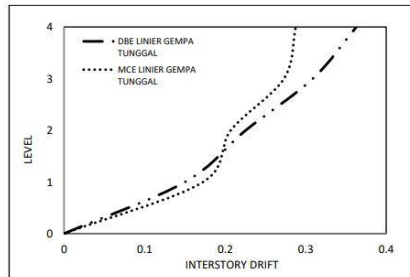
Nilai V1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (Vt) dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat,yaitu: Syarat : Vt 0,85 Cs.W.

#### 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.

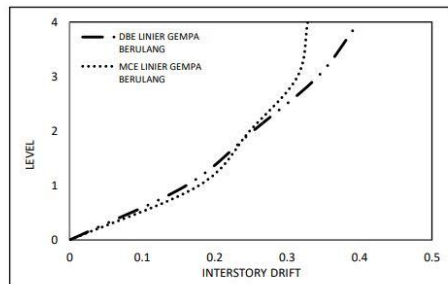
Berdasarkan analisa menggunakan aplikasi Ruaumoko 2D didapatkan nilai simpangan antar lantai dan simpangan atap berdasarkan dari groundmotion yang diskalakan berdasarkan respon spektrum wilayah Indonesia. Pada gambar 4.1 sampai dengan gambar

4.4 menunjukkan beberapa grafik interstory drift dengan perbedaan skala respon gempa yang diberikan. Pada grafik interstory drift diambil nilai rata-rata tiap groundmotion.



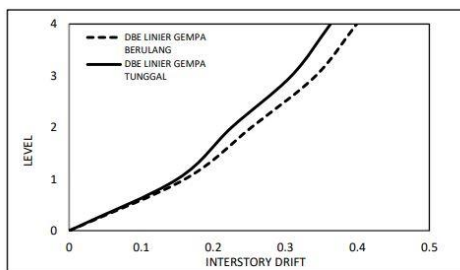
Gambar 4.1: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai *interstory drift* lebih besar pada level rendah dan pada level tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



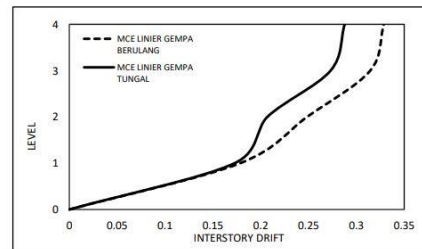
Gambar 4.2: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 terhadap gempa berulang dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai *interstory drift* akibat dari gempa berulang lebih besar pada level rendah dan pada level tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



Gambar 4.3: Perbandingan nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 terhadap gempa tunggal dan gempa berulang dengan nilai penskalaan DBE terhadap *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE yang diakibatkan oleh gempa berulang lebih besar dibandingkan dengan nilai *interstory drift* yang diakibatkan oleh gempa tunggal.



Gambar 4.4: Perbandingan nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 terhadap gempa tunggal dan gempa berulang dengan nilai penskalaan MCE terhadap *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *interstory drift* dengan penskalaan MCE yang diakibatkan oleh gempa berulang lebih besar dibandingkan dengan nilai *interstory drift* yang diakibatkan oleh gempa tunggal.

### 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 diatas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami Soft Story.

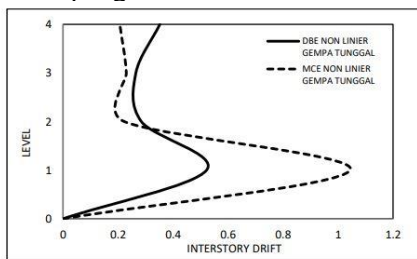
### Pengaruh Efek P-Delta

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.

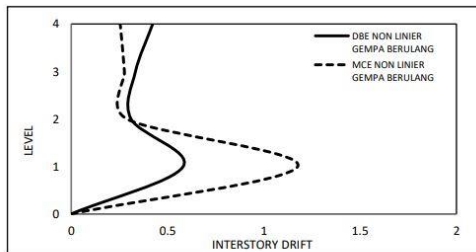
### Hasil Analisa Non Linier

Jenis gempa yang diberikan pada struktur baja yaitu gempa tunggal dan gempa berulang 2 kali yang dibedakan menjadi 2 jenis penskalaan yaitu DBE dan MCE. Setiap model struktur akan diambil data interstory drift dan top displacement setelah dianalisis, nilai tersebut dibandingkan terhadap faktor-faktor yang telah disebutkan diatas. Pada gambar 4.5 sampai 4.8 menunjukkan beberapa grafik hasil analisis interstory drift dengan perbedaan jenis penskalaan rekaman gempa. Pada grafik interstory drift yang ditampilkan merupakan hasil rata-rata dari beberapa groundmotion.



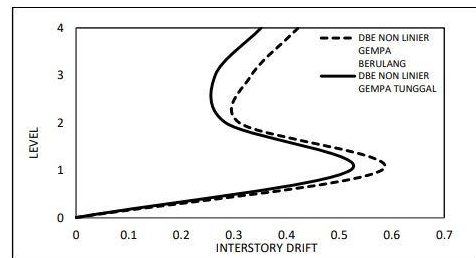
Gambar 4.5: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM lantai 4 terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai interstory drift akibat dari gempa tunggal lebih besar pada level rendah dan pada level tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



Gambar 4.6: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM lantai 4 terhadap gempa berulang dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai interstory drift akibat dari gempa berulang lebih besar pada level rendah dan pada level tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



Gambar 4.7: Perbandingan nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM lantai 4 terhadap gempa tunggal dan gempa berulang dengan nilai penskalaan DBE terhadap *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai interstory drift dengan penskalaan DBE yang diakibatkan oleh gempa berulang lebih besar dibandingkan dengan nilai interstory drift yang diakibatkan oleh gempa tunggal.

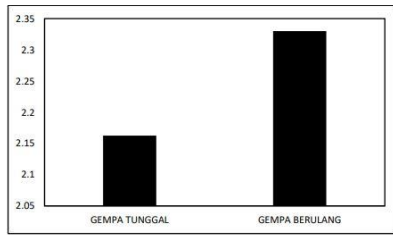
Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai interstory drift dengan penskalaan MCE yang diakibatkan oleh gempa berulang lebih besar dibandingkan dengan nilai interstory drift yang diakibatkan oleh gempa tunggal.

Tabel 4.3: Nilai perbandingan *interstory drift* untuk masing- masing model penskalaan *groundmotion*.

Model	T(s)	Tunggal	Berulang 2 kali
DBE linier	1,35	100%	110,33%
MCE linier	1,35	100%	113,79%
DBE non linier	1,35	100%	115,81%
MCE non linier	1,35	100%	117,2%

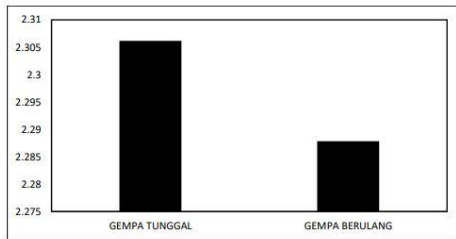
Pada tabel 4.3 terdapat beberapa nilai perbandingan interstory drift untuk kedua jenis gempa dalam setiap penskalaannya. Besarnya kenaikan yang terjadi dapat dilihat dengan nilai gempa tunggal sebagai acuan (100%), dalam tabel tersebut nilai interstory drift penskalaan DBE linier < penskalaan MCE linier < penskalaan DBE non linier < penskalaan MCE non linier untuk setiap gempa yang dimodelkan terhadap struktur.

## Hasil Analisa Simpangan Inelastic



Gambar 4.9: Perbandingan nilai rasio simpangan inelastic berdasarkan nilai penskalaan DBE linier dan DBE non linier.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa berdasarkan diagram batang hasil analisis simpangan inelastic bahwa rasio simpangan akibat dari gempa tunggal penskalaan DBE lebih kecil dibandingkan dengan gempa berulang penskalaan DBE.



Gambar 4.10: Perbandingan nilai rasio simpangan inelastic berdasarkan nilai penskalaan MCE linier dan MCE non linier.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa berdasarkan diagram batang hasil analisis simpangan inelastic bahwa rasio simpangan akibat dari gempa tunggal penskalaan MCE lebih besar dibandingkan dengan gempa berulang penskalaan MCE.

Tabel 4.4: Nilai perbandingan *top displacement* untuk masing- masing model penskalaan *groundmotion*.

Model	T(s)	Tunggal	Berulang 2 kali
DBE linier	1,35	100%	123,68
MCE linier	1,35	100%	125,69
DBE non linier	1,35	100%	133,24
MCE non linier	1,35	100%	122,71

Pada tabel 4.4 terdapat beberapa nilai perbandingan *top displacement* untuk kedua jenis gempa dalam setiap penskalaannya. Besarnya kenaikan yang terjadi dapat dilihat dengan nilai gempa tunggal sebagai acuan (100%), dalam tabel tersebut nilai interstory drift penskalaan MCE non linier <

penskalaan DBE linier < penskalaan MCE linier < penskalaan DBE non linier untuk setiap gempa yang dimodelkan terhadap struktur.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis linear dan non linear yaitu pembahasan mengenai perbandingan simpangan antar tingkat dan simpangan atap sistem rangka pemikul momen (SRPM) terhadap getaran gempa tunggal dan berulang, maka dapat diambil kesimpulan bahwa Hasil analisa pada struktur terhadap rekaman gempa tunggal dan gempa berulang berdasarkan penskalaan DBE linier, MCE linier, DBE non linier dan MCE non linier didapati bahwa nilai simpangan antar tingkat terbesar pada penskalaan rekaman gempa DBE linier dan MCE linier berada pada lantai 4. Sedangkan pada penskalaan DBE non linier dan MCE non linier nilai simpangan antar tingkat terbesar berapa pada lantai rendah.

Pada hasil analisa pada struktur terhadap rekaman gempa tunggal dan gempa berulang berdasarkan penskalaan DBE linier, MCE linier, DBE non linier dan MCE non linier didapati bahwa nilai *top displacement* diplot menjadi diagram analisis simpangan inelastic dimana pada diagram tersebut menunjukkan bahwa rasio dari penskalaan rekaman gempa berdasarkan DBE gempa tunggal lebih kecil dibandingkan dengan rasio gempa berulang dan untuk penskalaan rekaman gempa berdasarkan MCE untuk gempa tunggal lebih besar dibandingkan dengan gempa berulang yang didapatkan dari nilai rata-rata simpangan atap yang dimodelkan

terhadap 20 rekaman gempa tunggal  
dan 20 rekaman gempa berulang.

## DAFTAR PUSTAKA JURNAL

- 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. (2005). AISC 358–05 prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago..
- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M. (2020). Unjuk Kerja Generator Clok Sinyal Low Pass Filter, Pam Multiplexing Pada Rangkaian Percobaan Pulse Code Modulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 51-57.
- Adam, M. (2019, October). Pemanfaat Mikrokontroler Atmega8 Sebagai Pengaman Pintu Menggunakan Metode Sidik Jari (Fingerprint). In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 279-289)*.
- Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisi Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6. 0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 62-69.
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kripik Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah Tangga Di Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 123-128.
- Asfiati, S., & Mutiara, D. T. (2021). STUDI KESELAMATAN DAN KEAMANAN TRANSPORTASI DI PERLINTASAN SEBIDANG ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN UMUM (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Di Jalan Padang, Bantan Timur, Kecamatan Medan Tembung). *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kripik Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah Tangga Di Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 123-128.
- Ariani, R., & Riza, F. V. (2019, October). Peningkatan Derajat Kesehatan Melalui Sosialisasi Perilaku Hidup Bersih Dan Sehat Sejak Dini. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 319-322)*.
- Azis, Z., Panggabean, S., & Sumardi, H. (2021). EFEKTIVITAS REALISTIC MATHEMATICS EDUCATION TERHADAP HASIL BELAJAR MATEMATIKA SISWA SMP NEGERI 1 PAHAE JAE. *Journal Mathematics Education Sigma [JMES]*, 2(1), 19-24.
- Azmi, N., Budi, T., & Muttaqin, A. (2019). Studi Kuat Geser Beton Mutu Tinggi dengan Variasi Jenis Superplasticizer Menggunakan

- Bahan Tambah Abu Cangkang Sawit. 1(2), 71–77.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Bhagat, S., Wijeyewickrema, A. C., & Subedi, N. (2018). Influence of Near-Fault Ground Motions with Fling-Step and Forward-Directivity Characteristics on Seismic Response of Base-Isolated Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-20.
- Damanik, W. S., Pasaribu, F. I., Lubis, S., & Siregar, C. A. (2021). Pengujian Modul Solar Charger Control (SCC) Pada Teknologi Pembuangan Sampah Pintar. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 89-93.
- Eftekhar, G., & Nouri, G. (2018). Seismic Performance Assessment of High-Rise Buildings with Different Lateral Load Resisting Systems Under Near-Field Earthquakes with Fling Step. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(4), 361-370.
- Elkady, A., & Lignos, D. G. (2015). Effect of gravity framing on the overstrength and collapse capacity of steel frame buildings with perimeter special moment frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(8), 1289-1307.
- 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.
- Febriana, A., & Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus n Gedung B Program Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), PP-676.
- Goda, K., & Taylor, C. A. (2012). Effects of aftershocks on peak ductility demand due to strong ground motion records from shallow crustal earthquakes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(15), 2311- 2330.
- Khatami, M., Gerami, M., Kheyroddin, A., & Siahpolo, N. (2020). The effect of the mainshock–aftershock on the estimation of the separation gap of regular and irregular adjacent structures with the soft story. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 14(02), 2050008.
- Faisal, A. (2019). Influence of repeated earthquakes on the ductility demand of inelastic RC buildings. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*.
- Fitra, M., & Nasution, E. S. (2019, October). Pengembangan Produksi Dodol Mangrove Melalui Penerapan Teknologi Tepat Guna. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 350-354)*.
- 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*.
- Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover. *Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- 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.
- 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.
- Gunawan, S., Hasan, H., & Lubis, R. D. W. (2020). Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 38-47.
- Lubis, S., Damanik, W. S., & Siregar, M. A. (2021, January). DESIGN OF QIBLAT DIRECTION USING HMC 5883L SENSOR. In *Proceeding International Seminar of Islamic Studies* (Vol. 2, No. 1, pp. 178-184).
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Damanik, W. S., Siregar, R. S., Siregar, M. A., ... & Batubara, S. S. (2020). Pelatihan Penggunaan Sensor HMC 5883L Sebagai Petunjuk Arah Kiblat Sumatera Utara. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 229-237.
- Lubis, S. (2018). Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif. *RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi Jurnal Teknik Elektro* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE>.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 8 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 44-53.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 104-114.
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 85-92.
- Lubis, S., Siregar, C. A., Siregar, I., & Hasibuan, E. S. (2020). Kajian Eksperimen Deffoormasi Tekanan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 01-10.
- Lubis, S., Siregar, A. M., Siregar, C. A., & Siregar, I. (2021). Kajian Eksperimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Yang Diuji Secara Statis. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 64-72.
- Lubis, R. D. W., Syam, B., & Gunawan, S. (2020). Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 29-37.
- Siregar, M. A., & Riawansyah, R. (2018). Simulasi Perpindahan Panas Pada Heater Injection Molding Menggunakan Software Solidworks. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 1(1), 39-46.
- Vitri, G., & Herman, H. (2019). Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton. 6(2), 78-87. <https://doi.org/10.21063/JTS.2019.V602.06>
- Sitorus, L. R. (2018). Analisis Kuat Tekan Terhadap Umur Beton dengan Menggunakan Admixture Superplasticizer Viscocrete-3115 N.