

ANALISIS PERILAKU PORTAL BAJA DENGAN KEKAKUAN TINGKAT LUNAK (SOFT STORY)

Ade Septiani Putri¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Zulfikar Djauhari²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : ade.septiani@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Structure with soft story effect will enlarge the lateral deformation and shear forces in the column so that the destruction of the columns is particularly vulnerable when subjected to the large forces. This research aims to analyse the actual structural behaviour affected by the earthquake load. The steel structure was design according to Indonesian Steel Structure Building Code (SNI 1729-2015) and also Indonesian Load Earthquake Resistance Code (SNI 1726-2012). To assess the structural behaviour, the Non-linear Time History Analysis (NLTH) was conducted using finite element software. The earthquake load employed to the structure was modified Elcentro adjusted to geology of Pekanbaru. The result showed that in structure with soft story had the maximum displacement of 97,13 mm in Y direction. Moreover, maximum shear forces observed on the structure with soft story mechanism increased by 42.13% and 37.80% on X and Y direction respectively compared to the previous floor without soft story mechanism. The result also showed that soft story mechanism affected to the dynamic responses of the structure.

Keywords: soft story, earthquake, structure behaviour, time history analysis

A. PENDAHULUAN

Baja memiliki rasio kuat dibanding berat-volume yang tinggi, sehingga menghasilkan bangunan yang relatif ringan dan juga bersifat homogen dalam kualitasnya.

Perencanaan bangunan direncanakan agar kuat, kaku, dan aman. Kekuatan dikaitkan dengan besarnya tegangan yang mampu dipikul tanpa rusak, baik berupa deformasi besar (*yielding*) atau *fracture* (terpisah). Parameternya berupa tegangan leleh dan ultimate. Faktor kekutan adalah besarnya gaya untuk menghasilkan satu unit deformasi, parameternya berupa Modulus elastisitas. Faktor daktilitas terkait dengan besarnya deformasi sebelum keruntuhan (*failure*) terjadi, suatu faktor penting untuk perencanaan struktur dengan pembebanan tak terduga atau sukar diprediksi (gempa atau angin).

Struktur diharapkan sanggup menerima berbagai macam beban mengingat Indonesia termasuk kedalam wilayah *ring*

of fire yang memiliki intensitas gempa tinggi. Kinerja dari struktur dengan tingkat lunak (*soft story*) akan berbeda jika dikenai gaya gempa dengan intensitas yang sama. Struktur dengan tingkat lunak (*soft story*) akan memperbesar deformasi lateral dan gaya geser pada kolom sehingga kehancuran pada kolom sangat rentan terjadi apabila dikenai gaya yang besar.

Untuk memperhitungkan beban gempa analisis secara dinamis terutama analisis riwayat waktu (*time history*) sangat sering digunakan karena data gempa berasal dari akselogram sebagai input percepatan gerakan tanah akibat gempa, sehingga diharapkan hasil dari analisis ini dapat menunjukkan pendekatan perilaku struktur yang sebenarnya akibat gempa. Dari hasil analisis ini dapat dilihat pengaruh beban gempa per interval waktu selama durasi gempa yang terjadi terhadap struktur bangunan dengan kekakuan tingkat lunak (*soft story*).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirumuskan permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana respons dinamik struktur apabila terjadi gempa yaitu perpindahan (*displacement*), simpangan antar lantai (*story drift*), kekakuan antar lantai (*story stiffness*) dan gaya geser antar lantai (*story shear*) pada bangunan dengan *soft story*.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Ketidakberaturan Tingkat Lunak

(*Soft Story*)

Salah satu ketidakberaturan secara vertikal adalah ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak. Menurut **SNI 1726-2012** ketidakberaturan kekakuan vertikal tingkat lunak adalah jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. Jika kolom-kolom tingkat mempunyai kekakuan yang lebih kecil dibandingkan di atasnya, dan gaya aksial yang dipikulnya besar, maka energi gempa akan diserap sebagian besar oleh kolom ini, akibatnya terjadilah tingkat lunak (*soft story*) dimana sendi-sendi plastis terjadi pada ujung-ujung kolom ini.

B.2 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecahnya atau slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Bila dua buah lempeng bertumbukan maka daerah batas antara dua lempeng akan terjadi tegangan yang akan menyebabkan patahan yang menghasilkan gelombang pada permukaan bumi.

Edwiza (2008), menerangkan bahwa tingkat kerusakan akibat gempa bumi dapat diukur berdasarkan intensitasnya. Intensitas gempa bumi adalah derajat kerusakan akibat gempa bumi pada suatu daerah dan dilihat dari efek akibat getaran gempa. Besarnya intensitas sangat bergantung dari besarnya magnitudo, jarak dari sumber gempa, kondisi geologi, dan struktur

bangunannya. Intensitas tinggi biasanya terjadi pada daerah yang dekat sumber gempa. Tingkat intensitas gempa bumi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hubungan antara Magnitude dan Intensitas Gempa

Magnitudo (Ritcher)	Intensitas (M MI)	Pengaruh Terhadap Tipikal
<2	I-II	Pada umumnya tidak terasa
3	III	Terasa di dalam rumah, tidak ada kerusakan
4	IV-V	Terasa oleh orang banyak, barang-barang bergerak tidak ada kerusakan struktural
5	VI-VII	Terjadi beberapa kerusakan struktural, seperti retak-retak pada dinding
6	VII-VIII	Kerusakan menengah seperti hancurnya dinding
7	IX-X	Kerusakan besar, seperti runtuhnya bangunan
>8.0	XI-XII	Rusak total atau hampir hancur total

Edwiza (2008)

B.3 Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain () harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau dan tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (δ_a) seperti pada Tabel 2.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ) harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.30 berikut :

$$\delta x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Dimana :

C_d = faktor pembesaran defleksi

δ_{ex} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e = faktor keutamaan gempa

Tabel 2. Batasan Simpangan Antar Lantai

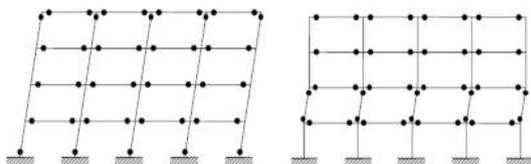
Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior yang telah di desain untuk mengakomodasikan simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{xx}	0,020 h_{xx}	0,015 h_{xx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{xx}	0,010 h_{xx}	0,010 h_{xx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{xx}	0,007 h_{xx}	0,007 h_{xx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{xx}	0,015 h_{xx}	0,010 h_{xx}

(SNI 1726, 2012)

B.4 Mekanisme Kerusakan Struktur

Mamesah & Wallah (2014) menyebutkan bahwa *software* elemen hingga mendefinisikan tingkat kerusakan struktur seperti yang telah ditabulasikan pada Tabel 3.

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu maka akan terbentuk sendi plastis (*hinge*) pada balok dan kolom gedung tersebut seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Sendi Plastis pada Balok dan Kolom

(Lumantama, 2013)

Tabel 3. Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terbentuknya Sendi Plastis

Keterangan	Penjelasan
B	Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur
IO	Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS	Terjadinya kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan.
CP	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i>
E	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

(Reza, 2016)

B.5 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (*Time History Analysis*)

Analisis riwayat waktu adalah suatu cara analisis dinamik struktur, dimana suatu model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa tiruan

terhadap riwayat waktu dari respon struktur yang ditentukan (Rendra, 2015)

Data percepatan permukaan tanah (PGA) berupa akselogram, yaitu grafik perbandingan percepatan permukaan tanah (PGA) terhadap waktu atau durasi saat terjadinya gempa. Percepatan tanah puncak harus ditentukan dengan studi spesifik situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik atau percepatan tanah puncak sesuai Persamaan dibawah ini :

$$PGA_M = F_{PGA}PGA$$

Dimana :

PGA_M = percepatan tanah puncak yang telah disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

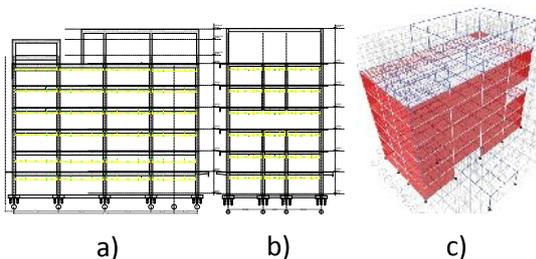
PGA = percepatan tanah puncak terpetakan

F_{PGA} = adalah koefisien situs

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Data Struktur

Struktur bangunan ini difungsikan sebagai hotel 7 lantai dengan material baja dan menggunakan (SNI 1729-2015) sebagai acuan perencanaan. Struktur ini memiliki ketinggian 3,8 m kecuali pada lantai kedua yang memiliki ketinggian 3,6 m. Total panjang bentang arah X adalah 31,7 m sedangkan arah Y adalah 16 m seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Gedung Soft Story

a) Arah X, b) Arah Y c) Bentuk 3D

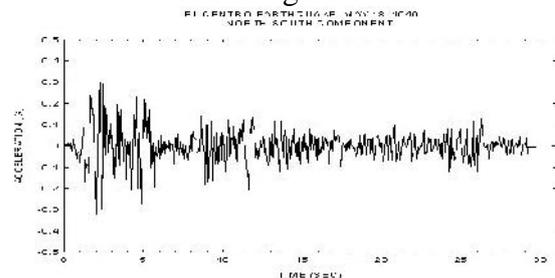
Berikut ini merupakan data material yang digunakan dalam perencanaan struktur ini :

Modulus Elastisitas (E_s) 200.000 MPa

Modulus Geser (G) 80.000 MPa
 Angka Poisson (ν) 0,3
 Berat Jenis Baja (steel) 7.850 kg/m³
 Tegangan Leleh (f_y) 240 MPa
 Profil Balok IWF 350.175.6.9
 Profil Kolom IWF 600.200.11.17

C.2 Data Beban

Beban gempa yang digunakan adalah berupa catatan respon riwayat waktu (*time history*) Gempa Elcentro ($PGA = 0,319$ g). Data Gempa Elcentro dapat dilihat pada Gambar 2. Gempa Elcentro ini akan diskalakan sesuai dengan kota Pekanbaru.



Gambar 2. Accelogram Gempa Elcentro

Berdasarkan SNI 1726-2012 nilai PGA Pekanbaru yang berada pada 0,2-0,25 g maka diambil 0,214 g . Untuk kelas situs SD dan nilai PGA 0,214g maka didapatkan nilai F_{PGA} sebesar 1,371. Sehingga selanjutnya dapat dihitung skala gempa Elcentro untuk kemudian di *input* dalam program elemen hingga.

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA$$

$$PGA_M = 1,371 \times 0,214$$

$$PGA_M = 0,293g$$

Gempa Elcentro

$$PGA_{Gempa} = 0,319g$$

$$PGA_M \text{ Pekanbaru} = 0,293g$$

SNI-1726-2012 pada Pasal 11.1.4, mengenai parameter respon menetapkan setiap gerak tanah dalam analisis harus dikalikan dengan I/R , sesuai konsep desain kapasitas untuk gempa rencana

$$I = 1$$

$$R = 8$$

$$PGA_M \text{ Pekanbaru yang diskalakan} = PGA_M \text{ Pekanbaru} \times (I/R)$$

$$= 0,293 \text{ g} \times (1/8)$$

$$= 0,037 \text{ g}$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,037}{0,293} \times 9,81 = 1,138 \text{ m/s}^2$$

C.2 Analisis Riwayat Waktu Non-Linier

Analisis dilakukan dengan menggunakan software elemen hingga, berikut merupakan tahapan melakukan analisis riwayat waktu non-linier :

1. Membuat model di dalam software elemen
2. Melakukan analisis ragam sesuai persyaratan SNI 1726-2012
3. Menentukan periode getar alami struktur
4. Memasukkan data riwayat waktu gempa Elcentro sebagai beban gempa sesuai dengan skala kota Pekanbaru.
5. Mendefinisikan nilai sendi plastis (hinges properties).
6. Menganalisis perilaku struktur hasil dari analisis riwayat waktu gempa dan tingkat kerusakannya.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Analisis Ragam

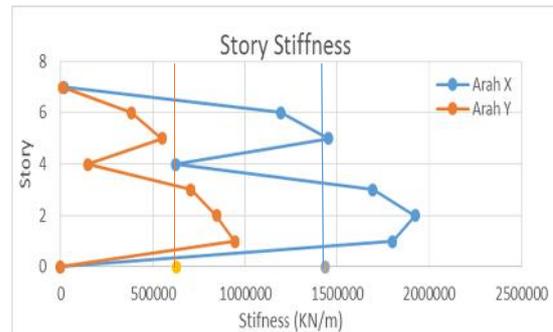
Berdasarkan SNI 1726-2012 jumlah ragam yang diambil menghasilkan partisipasi massa ragam melebihi 90% massa aktual arah horizontal tegak lurus dari struktur. Pada penelitian ini jumlah ragam yang digunakan adalah 12 ragam. Tabel 4. memperlihatkan hasil partisipasi masa ragam.

Tabel 4. Partisipasi Massa Ragam

	Partisipasi massa ragam (%)		Syarat SNI 1726-2012	Memenuhi
	Statis	Dinamis		
Arah X	100	98,1283	90%	Ya
Arah Y	100	99,9642	90%	Ya

D2. Kekakuan Antar Lantai (Story Stiffness)

Hasil analisis nilai kekakuan pada kedua model menggunakan elemen hingga dapat dilihat dari Gambar 3.

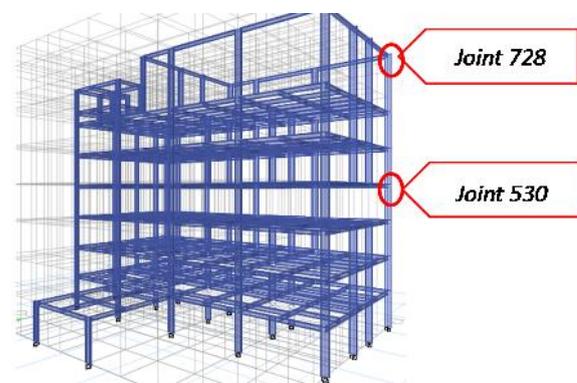


Gambar 3. Grafik Kekakuan Antar Lantai pada Struktur *Soft Story*

Untuk menentukan apakah struktur tersebut mengalami *soft story* atau tidak maka kekakuan suatu struktur tidak boleh kurang dari 70 % kekakuan lantai di atasnya seperti yang telah dijelaskan. Gambar 3 memperlihatkan bahwa struktur mengalami *soft story* pada lantai empat. Pada grafik terdapat suatu garis lurus yang merupakan rata-rata dari kekakuan dari tiap lantai, nilai yang terdekat dengan garis tersebut merupakan nilai kekakuan yang baik begitu juga sebaliknya.

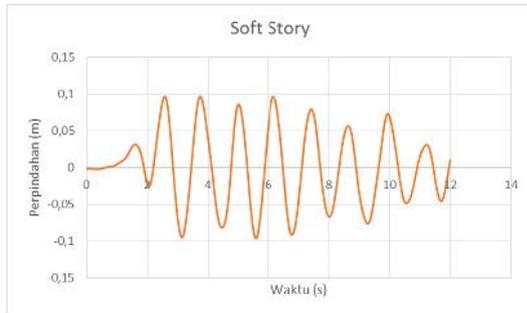
D.3 Perpindahan (Story Displacement)

Untuk melihat lebih jelas perbedaan pada struktur *soft story* maka akan ditampilkan grafik perpindahan maksimum akibat beban gempa elcentro pada lantai 7 dan lantai 4. Joint yang dipilih adalah joint 728 (lantai 7) dan joint 530 (lantai 4) seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Lantai dan *Joint* yang Dipilih untuk di Analisis

Pada joint 728 (lantai 7) dan joint 530 (lantai 4) pada struktur *soft tory* nilai perpindahan pada joint 728 (lantai 7) dan joint 530 (lantai 4) sebesar 97,13 mm dan 67,48 mm seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Nilai Perpindahan pada Joint 728 Struktur *Soft Story*



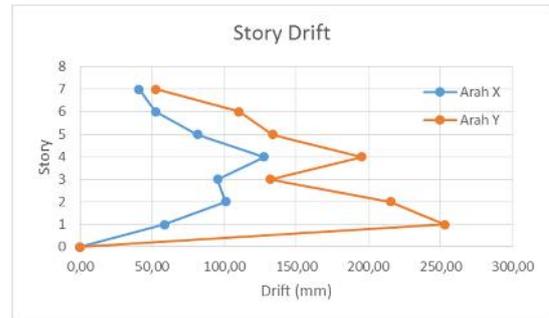
Gambar 6. Nilai Perpindahan pada Joint 530 Struktur *Soft Story*

D.4 Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Hasil analisis simpangan antar lantai dihitung sesuai persyaratan di SNI 1726-2012 seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.6., sehingga simpangan antar tingkat tidak boleh melampaui ijin yaitu 0,02 h, Untuk lebih jelasnya perhitungan simpangan antar lantai struktur *soft story* akan disajikan di dalam Tabel 5. dan Gambar 7.

Tabel 5. Simpangan Antar Lantai (Story Drift) pada Struktur *Soft-Story*

Lantai	Simpangan Antar Lantai		story drift izin	Cek	
	X	Y		X	Y
7	40,7165	52,5965	150	memenuhi	memenuhi
6	52,1235	110,1265	95	memenuhi	tidak
5	81,246	133,3035	95	memenuhi	tidak
4	127,5065	195,635	95	tidak	tidak
3	95,381	131,824	95	tidak	tidak
2	100,837	215,2975	90	tidak	tidak
1	58,4265	252,9285	95	memenuhi	tidak
0	0	0	0	-	-



Gambar 7. Grafik Simpangan Antar Lantai pada Struktur *Soft Story*

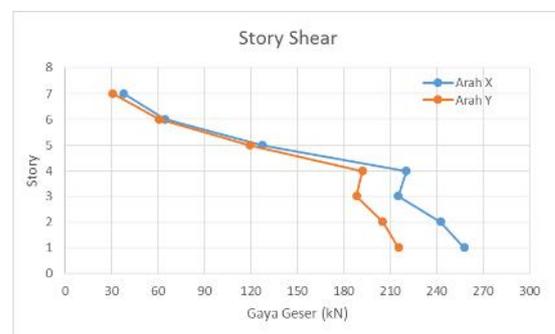
Berdasarkan data diatas maka dapat dilihat simpangan antar lantai pada struktur *soft story* nilai drift secara tiba-tiba membesar menjadi 86,07 mm dan 139,36 mm pada arah X dan Y.

D.5 Gaya Geser Antar Lantai (Story Shear)

Hasil analisis dari program elemen hingga untuk gaya geser tiap lantai diperlihatkan pada Tabel 6. dan Gambar 8.

Tabel 6. Gaya Geser Antar Lantai (Story Shear) pada Struktur *Soft-Story*

Story	Gaya Geser (kN)	
	Arah X	Arah Y
7	37,6103	30,4752
6	64,4122	60,4427
5	127,5355	119,4354
4	220,4	192,0316
3	215,0783	188,2727
2	242,6473	205,0662
1	257,7902	215,4337



Gambar 8. Grafik Gaya Geser Antar Lantai pada Struktur *Soft Story*

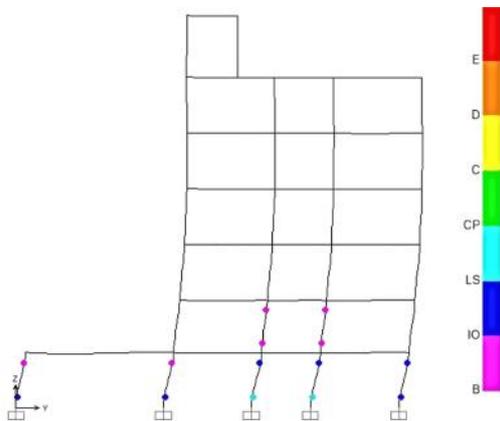
Seperti yang terlihat pada data diatas pada struktur *soft story* gaya geser antar lantai berubah secara tiba-tiba pada lantai yang mengalami *soft story* akibat kekakuan yang kecil pada lantai tersebut, sehingga menyebabkan gaya geser yang terjadi lebih besar.

D.6 Distribusi Sendi Plastis dan Tingkat Kerusakannya

Sendi plastis yang muncul merupakan reaksi struktur terhadap beban gempa Elcentro yang telah sesuai dengan Kota Pekanbaru. Sendi Plastis yang muncul akan berupa point-point bewarna seperti yang telah dijelaskan.

Berikut ini ditampilkan distribusi dari sendi plastis akibat dari beban gempa Elcentro yang telah disesuaikan dengan kondisi Kota Pekanbaru pada struktur *non-soft story* serta struktur dengan *soft story* dengan skala 1,138.

Struktur *Soft Story*



Gambar 9. Sendi Plastis Kondisi IO pada arah Y

Gambar 9. menunjukkan munculnya sendi plastis dengan level LS pada waktu deteksi 5,8 detik yang ditandai dengan warna biru muda, yang berarti perilaku struktur sudah *nonlinier*. Keadaan ini menunjukkan struktur bangunan yang mengalami kerusakan sedang sehingga diperlukan perbaikan, namun bangunan masih stabil dan mampu melindungi pemakai dengan baik.

Tabel 7. Waktu Deteksi Kerusakan Struktur Bangunan

No	Jenis Struktur	Skala Gempa	Waktu Deteksi Kerusakan (detik)			
			B	I O	L S	C EN
1	<i>Soft Story</i>	1,138	2,65	4,9	5,8	N/A, 11,98

N/A = *Not Available* (Tingkat Kerusakan Tidak Tercapai)

Tabel 7. menunjukkan waktu deteksi untuk tingkat kerusakan struktur. Waktu deteksi ini ditentukan berdasarkan kondisi sendi plastis yang muncul pada saat analisis riwayat waktu yang dilakukan.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Gaya geser pada lantai yang ditinjau dengan *soft story* memiliki perbedaan kenaikan sebesar 24,92% dan 19,84 pada arah X dan Y, peningkatan ini disebabkan oleh kekakuan lateral yang kecil untuk menerima gaya gempa. Sehingga hal ini juga berdampak pada besarnya nilai perpindahan serta simpangan antar lantai bangunan
2. Sendi plastis yang timbul pada struktur *soft story* terjadi sangat cepat pada waktu 2,65 detik dan struktur *non-soft story* sendi plastis tidak terjadi sama sekali.
3. Secara garis besar dapat dilihat efek *soft story* sangat berpengaruh terhadap respons dinamik struktur.

E.2 Saran

Dari penelitian diatas saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi terhadap skala gempa yang lebih besar agar tingkat kerusakan struktur lebih terlihat.

2. Variasi lain yang dapat dilakukan selanjutnya adalah memperkuat struktur dengan *soft story* seperti penggunaan peredam (*dampner*).

DAFTAR PUSTAKA

- Edwiza, D. (2008). Analisis Terhadap Intensitas Dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumatra Barat. *Teknika*, 1(29), 73–79.
- Lumantama, B. et al. (2013). Evaluasi Kinerja Bangunan Tidak Beraturan 6 dan 10 Lantai Dengan *Vertical Set Backs 50%* di Wilayah 6 Peta Gempa Indonesia yang Direncanakan Secara Pseudo Elastis dan Kapasitas Sesuai SNI 03-2847-2002, 1–46.
- Mamesah, W., & Wallah. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan *Soft First Story*, 2(4), 214–224.
- Rendra, R. (2015). Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum dan *Time History* (Studi Kasus : Hotel SKA Pekanbaru), 2(2), 1–15.
- Reza, S. F. et al. (2016). Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier, 3(1).
- SNI, 1729-2015. (2015). Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. (2012). *Sni 1726:2012*, 149.