

STUDI PERBANDINGAN ANALISIS LINIER RIWAYAT WAKTU AKIBAT PENGARUH GEMPA RENCANA DAN AKTUAL

COMPARISON STUDY OF LINEAR ANALYSIS OF TIME HISTORY DUE TO THE EFFECT OF DESIGN AND ACTUAL EARTHQUAKES

Mohd. Isneini¹, Surya Sebayang², Fadila Amelia Karima³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

E-mail: mohd.isneini@eng.unila.ac.id

Dikirim 12 Januari 2023, Direvisi 12 Februari 2023, Disetujui 28 Maret 2023

Abstrak: Lampung merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rawan akan aktifitas gempa bumi. Dalam upaya meminimalisir tingkat kerusakan yang terjadi, maka bangunan perlu dianalisis serta dievaluasi terhadap beban gempa. Penelitian ini berfokus di gedung Rawat Inap Non Bedah RSUD. Dr. H. Abdul Moeloek. Analisis ini dilakukan untuk melihat perbedaan perilaku struktur gedung pasca gempa sesuai kondisi gempa nyata dan gempa rencana. Dari hasil penelitian didapatkan gedung dalam level aman, dimana simpangan antar tingkat berada dibawah simpangan antar tingkat izin yaitu 48,4615 mm. Persentase selisih rata-rata hasil antara pembebanan menggunakan gempa aktual dan gempa rencana adalah 59,75% untuk *displacement X*, 51,99 % untuk *displacement Y*, 59,47% untuk *interstory drift X*, dan 51,91% untuk *interstory drift Y*. Gempa aktual yang tidak mengalami proses penskalaan didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan gempa rencana. Pada hakekatnya, penskalaan perlu untuk dilakukan, dikarenakan untuk menghindari kesalahan akibat penggunaan akselerogram yang tidak sesuai dengan kondisi yang ditinjau.

Kata kunci: Beban gempa aktual, beban gempa rencana, penskalaan akselerogram, simpangan antar tingkat

Abstract: Lampung is one of the areas in Indonesia that is prone to earthquake activity. In an effort to minimize the level of damage that occurs, the building needs to be analyzed and evaluated against earthquake loads. This study focuses on the non-surgical inpatient building of the RSUD. Dr. H. Abdul Moeloek. This analysis was carried out to see differences in the behavior of the post-earthquake structure according to the real earthquake conditions and the design earthquake. From the results of the study, it was found that the building is in a safe level, where the deviation between levels is below the deviation between the permit levels, which is 48.4615 mm. The percentage difference in average results between loading using the actual earthquake and the design earthquake is 59.75% for *displacement X*, 51.99% for *displacement Y*, 59.47% for *interstory drift X*, and 51.91% for *interstory drift Y*. The actual earthquake that did not undergo the scaling process was smaller than the designed earthquake. In essence, scaling needs to be done, because to avoid errors due to the use of an accelerogram that is not in accordance with the conditions under review.

Keywords: Actual earthquake load, design earthquake load, accelerogram scaling, drift between levels

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap aktivitas gempa bumi. Deformasi struktur dapat terjadi salah satunya disebabkan oleh pengaruh gempa, yaitu beban horizontal (lateral). Bangunan pada daerah rawan gempa, diharuskan mampu bertahan pada level gempa tertentu. Apabila struktur bangunan tidak mampu untuk menahan beban yang terjadi, maka bangunan akan mengalami kerusakan hingga keruntuhan.

Gempa merupakan suatu peristiwa yang dinamik. Sementara, analisis riwayat waktu

dapat mempresentasikan sifat dinamik berdasarkan percepatan gempa dan respons dari struktur bangunan (Wandriyanto dkk., 2014). Pada analisis riwayat waktu, beban gempa masukan yang digunakan bersumber dari gempa yang sudah pernah terjadi sebelumnya dan diskalakan pada taraf pembebanan desain. Untuk mengetahui intensitas perbedaan pengaruhnya, maka dilakukan analisis struktur secara linier terhadap gempa rencana dan gempa aktual. Perilaku pasca gempa yang diamati berupa *displacement* dan simpangan antar tingkat.

LANDASAN TEORI

A. Percepatan Maksimum Permukaan Tanah

Kondisi geologi dan tanah setempat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap pergerakan permukaan tanah saat terjadinya gempa. Percepatan maksimum permukaan tanah (*Peak Ground Acceleration / PGA*) merupakan suatu ukuran yang dapat mempengaruhi secara langsung pada struktur bangunan yang berada di atasnya. Intensitas percepatan permukaan tanah yang terjadi ketika suatu daerah dilanda gempa tidak sama antara satu tempat dengan tempat lain. Jarak ke pusat gempa, yang memberikan perbedaan itu terjadi.

B. Analisis Riwayat Waktu

Analisis riwayat waktu merupakan suatu analisis dinamik yang memodelkan struktur dengan memberikan catatan rekaman gempa dan respons strukturnya dihitung sampai interval waktu tertentu (Diredja dkk., 2012). Metode analisis riwayat waktu merupakan metode yang realistis dan memberikan pemeriksaan keamanan yang lebih baik untuk keamanan struktur yang dianalisis dan dirancang (Patil dan Kumbhar, 2013). Analisis riwayat waktu merupakan salah satu analisis yang dilakukan secara dinamik, adapun persamaan dinamik struktur menurut Chopra (Chopra, 2012) diinterpretasikan pada persamaan (1),

$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + [K]u(t) = \{p(t)\}$ (1)
dengan $[M]$ adalah matriks massa struktur, $[C]$ adalah matriks redaman struktur, $[K]$ adalah matriks kekakuan struktur, $u(t)$ adalah simpangan yang berubah terhadap waktu, $\dot{u}(t)$ adalah kecepatan yang berubah terhadap waktu $\ddot{u}(t)$ adalah percepatan dari struktur yang berubah terhadap waktu dan $p(t)$ adalah vektor gaya yang bekerja pada struktur yang berubah terhadap waktu.

C. Analisis Linier Riwayat Waktu

Secara linier, struktur diasumsikan tidak mengalami perubahan massa $[M]$, redaman $[C]$, dan kekakuan $[K]$ pada kondisi apapun

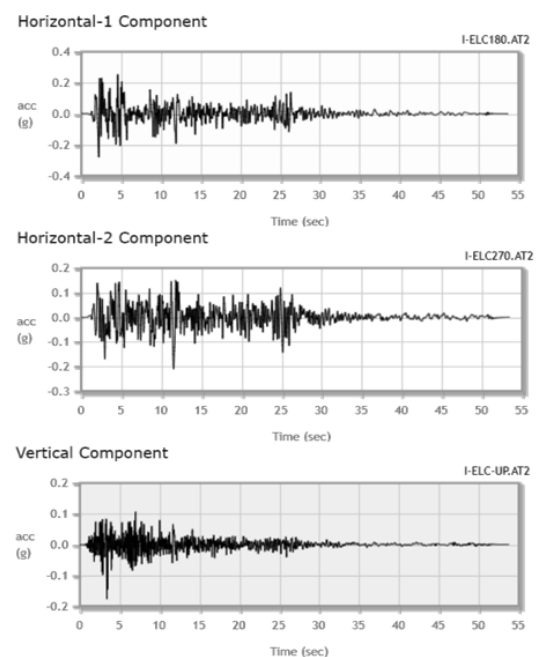
(Yudi dkk., 2019). Dalam kondisi ini, struktur direncanakan dapat kembali ke bentuk semula atau elastis.

D. Analisis Nonlinier Riwayat Waktu

Pada analisis nonlinier, struktur mengalami perubahan massa, kekakuan, dan redaman pada kondisi tertentu (Yudi dkk., 2019). Dalam kondisi ini, struktur diasumsikan tidak dapat kembali ke bentuk semula atau inelastis. Sifat suatu struktur didasarkan pada geometri material, sehingga dapat diketahui kekuatan struktur bangunan dari perilaku elemen struktur yang terbentuk (Wulandari, 2010).

E. Akselerogram

Akselerogram merupakan data hasil percepatan permukaan tanah berupa grafik perbandingan percepatan terhadap waktu terjadinya gempa. Akselerogram direkam dengan alat akselerograf atau biasa disebut *strong motion accelerograph*. Percepatan permukaan tanah yang direkam terdiri 3 komponen, satu arah vertikal dan dua arah horizontal. Komponen vertikal dapat diabaikan, maka analisis hanya perlu dilakukan untuk dua arah horizontal, yaitu X dan Y (Kostinakis, Athanatopoulou and Tsiggelis, 2013).



Gambar 1. Akselerogram gempa aktual Imperial Valley arah X dan Y.

F. Gempa Aktual

Gempa aktual merupakan kejadian gempa nyata atau gempa yang sudah pernah terjadi sebenarnya. Gempa aktual diterapkan pada struktur untuk mengetahui repons struktur akibat suatu kejadian gempa yang sebenarnya. Gempa nyata ini nantinya digunakan sebagai parameter utama analisis riwayat waktu sebelum diskalakan ke dalam tahap desain. Pada tahap gempa aktual ini tidak memperhitungkan penskalaan respons spektrum akselerogram, penskalaan percepatan tanah puncak, dan penskalaan gaya geser dasar yang disyaratkan dalam SNI 1726:2019 (Anggen dkk., 2014).

G. Gempa Rencana

Pada taraf gempa rencana dengan metode riwayat waktu, respons spektrum dari akselerogram gempa aktual harus disetarakan terhadap respons spektrum desain pada rentang periode 0,05 – 0,2 T. Dalam SNI 1726:2019 pasal 6.7.3 dijelaskan bahwa percepatan tanah puncak pada lokasi yang terpetakan harus disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, dapat dihitung dengan persamaan (2), $PGA_M = F_{PGA} \times PGA$ (2) dengan PGA_M adalah MCE_G percepatan tanah puncak disesuaikan klasifikasi situs, F_{PGA} adalah koefisien situs PGA, dan PGA adalah percepatan tanah puncak mengacu pada peta hazard gempa.

Setiap gerak tanah yang menjadi gempa masukan harus direduksi, seperti persamaan (3),

$$PGA_{M\ reduksi} = PGA_M \times g \times \left(\frac{I_e}{R}\right) \quad (3)$$

dengan g adalah percepatan gravitasi, I_e adalah faktor keutamaan gempa, dan R adalah koefisien modifikasi respons.

Percepatan gempa masukan perlu disetarakan terhadap percepatan tanah maksimum kondisi setempat yang telah direduksi. Apabila nilai *base shear* dinamik (V_t) $\leq 100\%$ *base shear* statik (V), maka skala perlu diperbesar sesuai persamaan (4),

$$Faktor\ skala = PGA_{M\ reduksi} \times \left(\frac{V}{V_t}\right) \quad (4)$$

H. Simpangan Antar Tingkat

Dalam SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 dijelaskan bahwa penentuan simpangan antar tingkat harus dihitung berdasarkan, perbedaan simpangan yang terjadi pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar tingkat di pusat massa titik x ditentukan berdasarkan persamaan (5) dan persamaan (6),

$$\delta_x = \frac{\delta_{xe} \times C_d}{I_e} \quad (5)$$

$$\Delta_x = \frac{(\delta_{2e} - \delta_{1e}) \times C_d}{I_e} \leq \Delta_a \quad (6)$$

dengan δ_x adalah perpindahan yang diperbesar pada lantai yang ditinjau, δ_{xe} adalah perpindahan elastik akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan, Δ adalah simpangan antar tingkat, Δ_a adalah simpangan antar tingkat izin dimana:

Untuk kategori desain seismik D, E, atau F, nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi $\frac{\Delta_a}{\rho}$ untuk semua tingkat, $\rho=1,3$.

METODOLOGI

A. Deskripsi Struktur Gedung

Dalam penelitian ini, gedung yang digunakan merupakan gedung RSUD Dr. H. Abdul Moeloek yang berlokasi di Bandar Lampung. Adapun deskripsi gedung secara singkat ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi Gedung

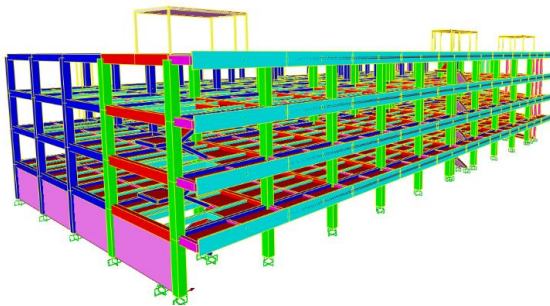
| Deskripsi Gedung | Keterangan |
|----------------------------------|-----------------------|
| Sistem struktur | Sistem Ganda |
| Jumlah lantai | 4 |
| Tinggi lantai tipikal | 4,2 m |
| Elevasi tertinggi | 20,3 m |
| Kedalaman pondasi | 8,45 m |
| Luas gedung | 3102,5 m ² |
| Mutu beton | K-300 |
| Mutu baja tulangan polos | 240 MPa |
| Mutu baja tulangan ulir | 400 MPa |
| Kategori risiko | IV |
| Fak. keutamaan gempa (I_e) | 1,5 |
| Koef. modifikasi respons (R) | 7 |

Tabel 2. Deskripsi Gedung (lanjutan)

| Deskripsi Gedung | Keterangan |
|---------------------------------------|--------------|
| Fak. kuat lebih sistem (Ω_0) | 2,5 |
| Fak. pembesaran defleksi (C_d) | 5,5 |
| Berat total bangunan | 104061,71 kN |

B. Pemodelan dan Pembebanan Struktur

Pemodelan struktur seperti ditampilkan pada Gambar 2 dibantu menggunakan *software* analisis struktur. Pembebanan yang digunakan terdiri dari berat sendiri struktur, beban mati tambahan, beban hidup dan beban percepatan gempa. Pada level gempa rencana digunakan analisis riwayat waktu dengan akselerogram gempa aktual yang sudah diskalakan dalam taraf desain sesuai SNI 1726:2019. Pada level gempa aktual, analisis riwayat waktu menggunakan akselerogram gempa aktual yang belum diskalakan. Keseluruhan analisis dilakukan secara linier.



Gambar 2. Pemodelan 3D gedung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Riwayat Waktu Gempa Aktual

Percepatan permukaan tanah akibat pengaruh gempa aktual yang terjadi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Percepatan Tanah Puncak Gempa Aktual

| Gempa | PGA _{max} Gempa Aktual | |
|-----------------|---------------------------------|----------|
| | Arah X | Arah Y |
| Imperial Valley | 0,2541 g | 0,1502 g |
| Kobe | 0,5904 g | 0,6297 g |
| Kocaeli | 0,2161 g | 0,3499 g |
| Northridge | 0,5712 g | 0,9950 g |
| San Fernando | 1,2190 g | 0,9048 g |

B. Analisis Riwayat Waktu Gempa Rencana

Nilai percepatan tanah puncak gempa masukan berasal dari penskalaan akselerogram gempa aktual terhadap respons spektrum desain. Percepatan tanah puncak gempa masukan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Percepatan Tanah Puncak Gempa Masukan

| Gempa | PGA _{max} Gempa Masukan | |
|-----------------|----------------------------------|----------|
| | Arah X | Arah Y |
| Imperial Valley | 0,2702 g | 0,2412 g |
| Kobe | 0,2817 g | 0,2647 g |
| Kocaeli | 0,3280 g | 0,2738 g |
| Northridge | 0,3088 g | 0,3485 g |
| San Fernando | 0,2421 g | 0,2679 g |

(Karima, 2021)

Percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan dengan PGA_M reduksi. PGA_M reduksi dari gempa rencana didapatkan nilai 0,9867g. Skala gempa sesuai Pers.4 ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Skala Gempa Masukan

| Gempa | PGA _{max} Gempa Masukan | |
|-----------------|----------------------------------|--------|
| | Arah X | Arah Y |
| Imperial Valley | 3,6515 | 4,0872 |
| Kobe | 3,5034 | 3,7278 |
| Kocaeli | 3,0087 | 3,6045 |
| Northridge | 3,1950 | 2,8312 |
| San Fernando | 4,0751 | 3,6830 |

(Karima, 2021)

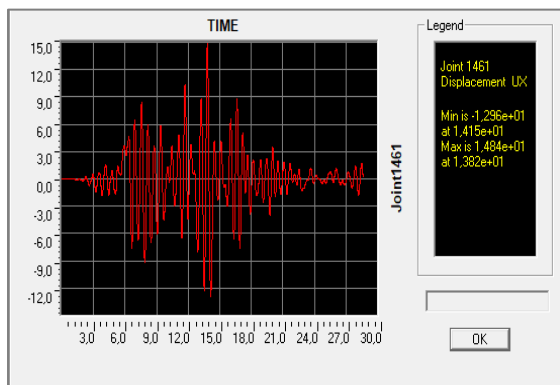
Evaluasi terhadap geser dasar didapatkan nilai dinamik geser dasar (V_t) < 100 % statik geser dasar (V) untuk gempa Kocaeli arah X. Maka dilakukan penskalaan kembali sesuai Pers.5. Skala yang baru untuk gempa Kocaeli sebesar 3,1067.

C. Displacement

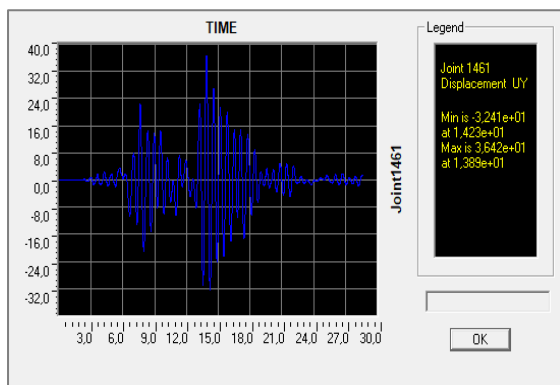
Maximum displacement akibat pengaruh beban gempa aktual dan gempa rencana berada di lantai atap, namun memiliki nilai yang berbeda. Pada gempa aktual, *maximum displacement* terjadi akibat pengaruh gempa Northridge yang membebani bangunan pada arah X dan Y. Sementara, pada gempa rencana, *maximum*

displacement terjadi akibat pengaruh gempa San Fernando pada arah X dan Y.

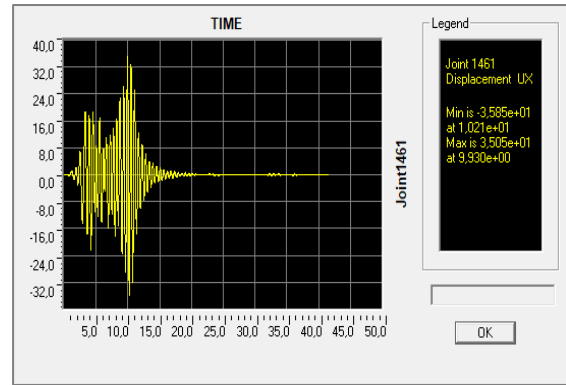
Pada Gambar 3 – Gambar 6 dapat dilihat secara mendetail mengenai plot waktu terjadinya *displacement* dengan analisis riwayat waktu. Akibat pengaruh beban gempa aktual Northridge, *maximum displacement* arah X sebesar 14,84 mm di waktu 13,82 detik. *Maximum displacement* arah Y terjadi pada waktu 13,89 detik dengan *displacement* sebesar 36,42 mm. Sementara, *maximum displacement* pada arah X disebabkan oleh gempa rencana San Fernando sebesar 35,05 mm pada waktu 9,93 detik. *Maximum displacement* arah Y terjadi sebesar 31,87 mm pada waktu 10,57 detik.



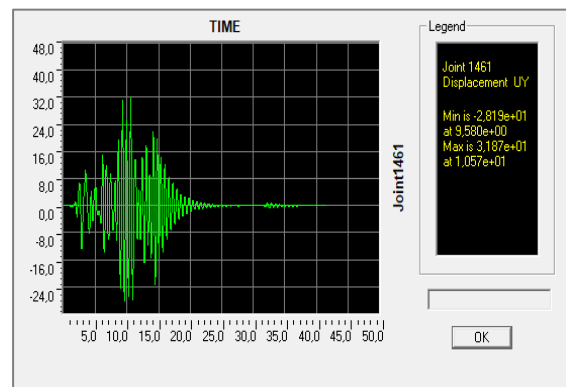
Gambar 3. Grafik *roof displacement* gempa aktual Northridge X.



Gambar 4. Grafik *roof displacement* gempa aktual Northridge Y.



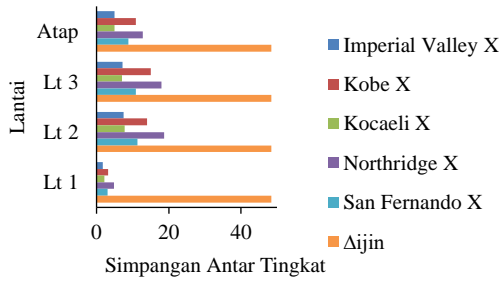
Gambar 5. Grafik *roof displacement* gempa rencana San Fernando X.



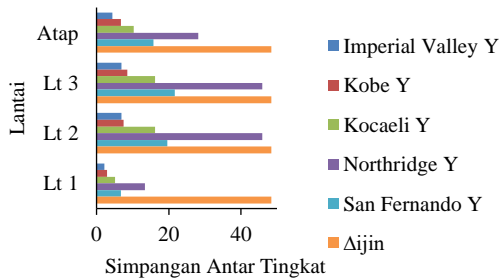
Gambar 6. Grafik *roof displacement* gempa rencana San Fernando Y.

D. Interstory Drift

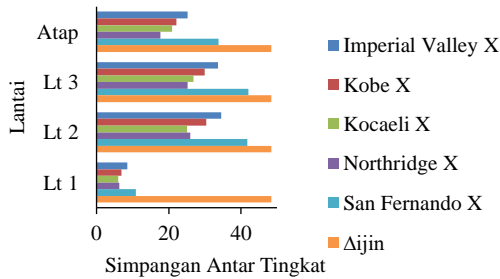
Dari hasil analisis riwayat waktu menggunakan gempa aktual dan gempa rencana didapatkan kondisi struktur masih memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2019. Nilai simpangan antar tingkat (*interstory drift*) untuk kelima jenis gempa tidak melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) sebesar 48,4615 mm. Nilai *maximum interstory drift* pada gempa aktual terjadi di lantai 2 akibat pengaruh gempa Northridge. Pada arah X, *interstory drift* yang terjadi sebesar 18,7478 mm dan arah Y, sebesar 45,9929 mm. Pada gempa rencana, nilai *maximum interstory drift* terjadi di lantai 3 akibat pengaruh gempa San Fernando. *Interstory drift* pada arah X, sebesar 42,1334 mm dan arah Y, sebesar 39,6269 mm. *Interstory drift* untuk gempa aktual dan gempa rencana diekspresikan pada Gambar 7 – Gambar 10.



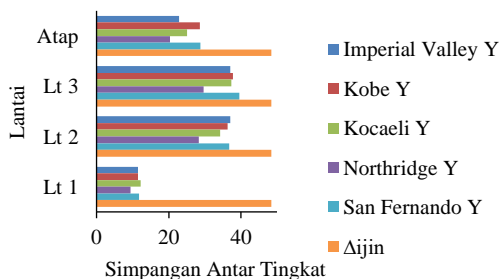
Gambar 7. Grafik *interstory drift* gempa aktual arah X.



Gambar 8. Grafik *interstory drift* gempa aktual arah Y.



Gambar 9. Grafik *interstory drift* gempa rencana arah X. (Karima, 2021)



Gambar 10. Grafik *interstory drift* gempa rencana arah Y. (Karima, 2021)

E. Hubungan Penskalaan Akselerogram – *Interstory Drift*

Besaran nilai yang didapatkan dari *interstory drift* antara gempa aktual dan gempa rencana memiliki perbedaan, walaupun keduanya masih dalam level aman. *Interstory drift* yang dihasilkan dari gempa aktual memiliki rata-rata nilai yang jauh lebih kecil jika dibandingkan gempa rencana. Hal ini dipengaruhi oleh faktor penskalaan akselerogram. Akselerogram gempa aktual yang ada belum bisa menginterpretasikan kondisi yang ada, terutama Indonesia. Akselerogram gempa yang digunakan dalam analisis riwayat waktu harus sesuai dengan respons spektrum desain. Sulitnya menemukan akselerogram gempa aktual yang sesuai, maka perlu dilakukan penskalaan akselerogram gempa aktual agar sesuai (*matched*) dengan respons spektrum desain (Lew and Naeim, 1996).

KESIMPULAN

Analisis linier riwayat waktu akibat gempa aktual dan rencana memberikan pengaruh nilai yang berbeda pada struktur bangunan. Persentase selisih rata-rata hasil analisis riwayat waktu antara gempa aktual terhadap gempa rencana adalah 60,03% untuk *displacement X*, 41,45% untuk *displacement Y*, 60,44% untuk *interstory drift X*, dan 42,07% untuk *interstory drift Y*. Penskalaan akselerogram menjadi hal yang penting dan perlu dilakukan, dimana penskalaan akselerogram gempa masukan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perilaku struktur pasca terjadinya gempa.

SARAN

Adapun saran yang dianjurkan antara lain:

1. Menggunakan data rekaman gempa yang berada di dekat lokasi tinjauan.

2. Menggunakan analisis nonlinier riwayat waktu untuk mendapatkan hasil perilaku struktur yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Andhika, L. R. (2021). Tata Kelola Adaptif Wilayah Pesisir: Meta Teori Analisis. *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*, 9(1), 87–102.
- Anggen, W. S., Budi, A. S., dan Gunawan, P. (2014). Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar). *MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 313–320.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Standar nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: PUSLITBANG PUPR.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering, 4/E*. Four. California: Pearson education.
- Diredja, N. V., Pranata, Y. A., dan Simatupang, R. (2012). Analisis Dinamik Riwayat Waktu Gedung Beton Bertulang Akibat Gempa Utama Dan Gempa Susulan. *Dinamika TEKNIK SIPIL*, 70–77.
- Karima, F. A. (2021) *Analisis Struktur Gedung Bertingkat Rendah Akibat Pengaruh Beban Gempa Dengan Metode Riwayat Waktu*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Kostinakis, K. G., Athanatopoulou, A. M., dan Tsiggelis, V. S. (2013). Effectiveness Of Percentage Combination Rules For Maximum Response Calculation Within The Context Of Linear Time History Analysis. *Engineering Structures*, 36–45.
- Lew, M., dan Naeim, F. (1996). Use Of Design Spectrum-Compatible Time Histories In Analysis Of Structures. *XI World Conference On Earthquake Engineering*.
- Patil, A. S., dan Kumbhar, P. D. (2013). Time History Analysis of Multistoried Rcc Buildings for Different Seismic Intensitie. *International journal of structural and civil engineering research*, 195–201.
- Wulandari, P. E. (2010). *Perilaku Struktur Komposit Bangunan Rumah Sakit Terhadap Respon Dinamik Analisa Riwayat Waktu (Time History) Non Linear*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Yudi, A., Bayzoni., Wirawan, N. B., Nadeak, R. (2019). Analisis Perilaku Struktur Beton Dan Baja Dengan Metode Levelling Time History (Studi Kasus Gedung E Itera, Lampung, Indonesia). *REKAYASA SIPIL*, 173–183.

Halaman Kosong