

Analisis Dinamik Gempa Riwayat Waktu pada Struktur Gedung Beton Bertulang

REYHAN ERLANGGA RAMADIAN¹, BADRIANA NURANITA².

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Email: reyhanerlangga87@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki ancaman gempa bumi yang cukup tinggi karena berada di atas tiga pertemuan lempeng tektonik yaitu lempeng Indo – Australia, Eurasia, dan Pasifik. Jika terjadi gempa bumi, dapat menimbulkan bahaya karena gempa tidak dapat diprediksi secara pasti. Oleh karena itu, struktur bangunan harus direncanakan mampu memikul beban dan tahan gempa guna memperkecil risiko korban jiwa dan kerusakan. Struktur bangunan tahan gempa didasari oleh perencanaan yang baik dan sesuai dengan regulasi yang ada. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk meneliti kinerja struktur berdasarkan gaya geser dasar, perpindahan, dan simpangan dengan metode analisis riwayat waktu. Bangunan yang diteliti merupakan struktur beton bertulang. Setelah melakukan perhitungan deformasi dan simpangan antar lantai untuk seluruh data riwayat waktu, hasil menunjukkan bahwa struktur memenuhi syarat batas izin simpangan. Hasil gaya geser dasar gempa terbesar didapatkan dari data rekaman gempa yang memiliki percepatan pergerakan tanah terbesar. Hasil kontrol kinerja struktur dari ketiga riwayat gempa menyatakan bahwa tingkatan struktur gedung termasuk tingkatan Immediate Occupancy (IO) yang berarti tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

Kata kunci: struktur beton bertulang, analisis riwayat waktu, level kinerja struktur

ABSTRACT

Indonesia has a fairly high earthquake threat because it is located above three tectonic plate confluences, namely the Indo-Australian, Eurasian, and Pacific plates. If an earthquake occurs, it can be dangerous because earthquakes cannot be predicted with certainty. Therefore, building structures must be planned to be able to bear the load and withstand earthquakes in order to minimize the risk of loss of life and damage. Earthquake-resistant building structures are based on good planning and in accordance with existing regulations. Therefore, this study is needed to examine the performance of structures based on base shear, displacements, and drift using the time history analysis method. The building studied is a reinforced concrete structure. After calculating deformation and inter-floor deviations for all time history data, the results show that the structure meets the deviation permit limit requirements. The results of the largest earthquake basic shear force were obtained from earthquake recording data that had the largest ground movement acceleration. The results of structural performance control from the three earthquake histories state that the level of the building structure is included in the Immediate Occupancy (IO) level, which means that there is no significant damage to the structure and its stiffness is almost the same as the condition before the earthquake.

Keyword: reinforced concrete structures, time history analysis, structural performance level

1. PENDAHULUAN

Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng utama dunia, yaitu; lempeng Indo – Australia, Eurasia, dan Pasifik. Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi tektonik. Pada rentang tahun 2020 – 2021 telah tercatat berbagai aktivitas gempa besar di Indonesia, yaitu: gempa di Maluku Utara pada 4 Juni 2020 (M ; 6,8 Richter), gempa (doublet) Bengkulu pada 19 Agustus 2020 (M : 6,6 Richter), gempa Simeulue, Aceh pada 7 Januari 2020 (M : 6,1 Richter), gempa Sulawesi Barat pada 5 Januari 2021 (M : 6,2 Richter).

Dari rentetan kejadian gempa di Indonesia dan dampak yang telah ditimbulkan, perencanaan struktur pada wilayah rawan gempa harus memenuhi aspek ketahanan terhadap gempa. Dalam SNI-03-1726 2019 telah ditetapkan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian peralatannya secara umum. Dengan ini penelitian dilakukan kinerja struktural berdasarkan *base share*, *displacement*, dan *drift* dengan analisis riwayat waktu apabila terjadi gempa akibat patahan lembang menggunakan analisis riwayat waktu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Standar yang digunakan pada struktur gedung di Indonesia SNI 03 1726 – 2019 memiliki syarat untuk struktur bangunan secara keseluruhan harus mampu menahan beban gempa dengan periode ulang 500 tahunan atau gempa kuat.

2.2 Analisis Riwayat Waktu Linear (*Time History*)

Analisis riwayat waktu linier merupakan metode yang dilakukan dengan cara memberikan catatan rekaman gempa pada struktur bangunan dengan respon struktur dihitung dalam interval waktu tertentu. Pada analisis riwayat waktu linier, pembebanan gempa yang dimasukkan pada pemodelan struktur berupa rekaman gerakan tanah (*ground motion*).

2.3 Level Kinerja Struktur

Dari hasil analisis dilakukan evaluasi kinerja struktur untuk mengetahui apakah struktur aman atau tidak sesuai batas simpangan antar tingkat yang tercantum dalam SNI 1726:2019 dan level kinerja struktur sesuai dengan *Applied Technology Council* (ATC-40).

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan dan melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Kategori level kinerja struktur adalah:

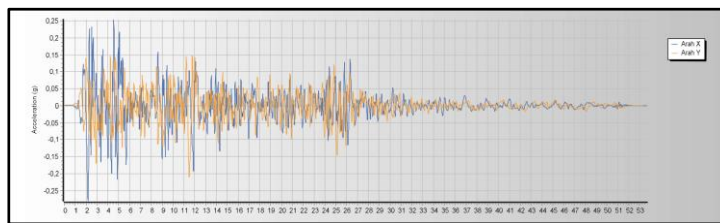
- (a) *Immediate Occupancy* : tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa;
- (b) *Damage Control* : kerusakan yang terjadi bervariasi diantara kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*. Elemen struktur mengalami kerusakan dan ada risiko korban jiwa;
- (c) *Life Safety* : terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen non-struktur masih ada

tetapi tidak berfungsi;

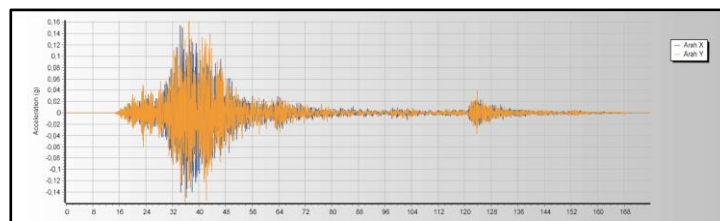
- (d) *Limited Safety* : keadaan bangunan berada diantara *life safety* dan *structural stability*;
- (e) *Structural Stability* : kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non-struktur. Kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hampir runtuh. Kecelakaan akibat material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.

3. METODE PENELITIAN

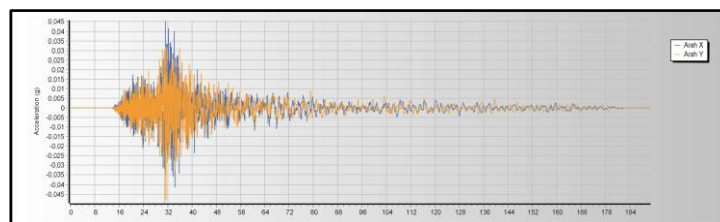
Penelitian dimulai dengan merumuskan masalah dari penelitian, dan dilanjut dengan pengumpulan literatur untuk dijadikan referensi yang bersumber pada buku dan jurnal-jurnal penelitian terdahulu, pencarian data struktur gedung eksisting, dan juga pencarian data percepatan gempa riwayat waktu. Selanjutnya melakukan pemodelan struktur dengan bantuan *software* ETABS yang akan menghasilkan nilai *base shear*, *displacement*, dan *drift*. Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan sesuai dengan pedoman seperti SNI atau ATC-40 untuk mengetahui level kinerja struktur yang di teliti. Percepatan gempa untuk analisis riwayat waktu dalam penelitian ini yaitu gempa El Centro, Hamadori, dan Kushirooki seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** sampai **Gambar 3** berikut.



Gambar 1. Akselerogram Gempa El Centro, California, 1940



Gambar 2. Akselerogram Gempa Hamadori, Japan 2011



Gambar 3. Akselerogram Gempa Kushirooki, Japan 2004

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan penelitian ini merupakan hasil analisis pemodelan pada data struktur gedung dengan bantuan *software* ETABS yang mengeluarkan hasil analisis struktur berupa nilai gaya geser dasar dan simpangan antar lantai sebagai parameter untuk menentukan tingkat kinerja struktur dan perilaku struktur gedung tersebut.

4.1 Gaya Geser Dasar

Base Shear adalah gaya lateral maksimum yang dialami oleh dasar struktur itu sendiri akibat beban seismik yang bekerja. Dari analisis yang sudah dilakukan melalui bantuan *software* ETABS, besar gaya geser pada Struktur Gedung Pasar Modern di Kota Pasuruan dapat dilihat pada **Tabel 1** sebagai berikut.

Tabel 1. Gaya Geser Dasar Rekaman Gempa Yang Diteliti

Nama Gempa	X [kN]	Y [kN]
El Centro, California	4785,85	4785,85
Hamadori, Japan	4785,85	4785,85
Kushirooki, Japan	4785,85	4785,85

4.2 Simpangan Antar Lantai

Story Drift merupakan perbedaan perpindahan simpangan antar tingkat pada sebuah bangunan akibat beban gempa dan dilakukan untuk mengetahui kondisi ultimit stuktur gedung. Perhitungan ditunjukkan pada **Tabel 2** sampai **Tabel 5** sebagai berikut.

Tabel 2. Simpangan Antar Lantai Analisis Respons Spektrum

Story	Displacement		Elastic Drift		h [mm]	Inelastic Drift		Drift Limit [mm]	Cek
	δeX [mm]	δeY [mm]	δeX [mm]	δeY [mm]		[mm]	[mm]		
1	22,929	19,616	4,280	3,672	4000	23,540	20,196	76,923	OK
2	18,649	15,944	7,524	6,463	4000	41,382	35,547	76,923	OK
3	11,125	9,481	6,780	5,733	4000	37,290	31,532	76,923	OK
4	4,345	3,748	4,590	3,984	4000	25,245	21,912	76,923	OK

Tabel 3. Simpangan Antar Lantai Rekaman Gempa El Centro

Story	Displacement		Elastic Drift		h [mm]	Inelastic Drift		Drift Limit [mm]	Cek
	δeX [mm]	δeY [mm]	δeX [mm]	δeY [mm]		[mm]	[mm]		
1	23,506	21,531	5,342	3,423	4000	29,381	18,827	76,923	OK
2	18,164	18,108	7,713	6,523	4000	42,422	35,877	76,923	OK
3	10,451	11,585	6,511	6,780	4000	35,811	37,290	76,923	OK
4	3,940	4,805	4,590	3,984	4000	25,245	21,912	76,923	OK

Tabel 4. Simpangan Antar Lantai Rekaman Gempa Hamadori

Story	Displacement		Elastic Drift		h [mm]	Inelastic Drift		Drift Limit [mm]	Cek
	δeX [mm]	δeY [mm]	δeX [mm]	δeY [mm]		[mm]	[mm]		
1	23,012	27,350	4,591	5,178	4000	25,251	28,479	76,923	OK
2	18,421	22,172	7,752	9,154	4000	42,636	50,347	76,923	OK
3	10,669	13,018	6,593	8,032	4000	36,262	44,176	76,923	OK
4	4,076	4,986	4,590	3,984	4000	25,245	21,912	76,923	OK

Tabel 5. Simpangan Antar Lantai Rekaman Gempa Hamadori

Story	Displacement		Elastic Drift		h [mm]	Inelastic Drift		Drift Limit [mm]	Cek
	δeX [mm]	δeY [mm]	δeX [mm]	δeY [mm]		[mm]	[mm]		
1	23,152	24,305	4,705	4,636	4000	25,878	25,498	76,923	OK
2	18,447	19,669	7,577	7,571	4000	41,674	41,641	76,923	OK
3	10,870	12,098	6,701	7,282	4000	36,856	40,051	76,923	OK
4	4,169	4,816	4,590	3,984	4000	25,245	21,912	76,923	OK

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai akibat beban gempa El Centro, Hamadori, dan Kushiroomi dengan metode riwayat waktu telah memenuhi syarat simpangan izin antar lantai.

4.3 Level Kinerja Struktur

Untuk mengetahui level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 diperlukan nilai simpangan yang diambil dari setiap analisis gempa riwayat waktu yaitu nilai pembesaran deformasi atau simpangan bagian atap (D_t). Hasil perhitungan level kinerja dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

Tabel 6. Performance Level Tinjauan Arah X

Metode	D_t [mm]	h_n [mm]	(D_t / h_n)	Drift	Keterangan
Respons Spektrum	22,929	16000	0,00143	< 0,01	IO
Time History El Centro	23,506	16000	0,00147	< 0,01	IO
Time History Hamadori	23,012	16000	0,00144	< 0,01	IO
TimeHistory Kushiroomi	23,152	16000	0,00145	< 0,01	IO

Tabel 7. Performance Level Tinjauan Arah Y

Metode	D_t [mm]	h_n [mm]	(D_t / h_n)	Drift	Keterangan
Respons Spektrum	19,616	16000	0,00123	< 0,01	IO
Time History El Centro	21,531	16000	0,00135	< 0,01	IO
Time History Hamadori	27,350	16000	0,00171	< 0,01	IO
Time History Kushiroomi	24,305	16000	0,00152	< 0,01	IO

Sesuai dengan ATC-40 hasil perhitungan dari $max\ total\ drift < 0,1$ yang diartikan bahwa struktur masuk kedalam kriteria kinerja *Immediate Occupancy* (IO) tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis riwayat waktu, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis struktur hasil permodelan menggunakan *software* ETABS V.20 telah memenuhi persyaratan dalam menahan beban yang berlaku pada struktur.

2. Simpangan antar lantai tidak melebihi simpangan izin.
3. Perhitungan gaya geser dasar statik menghasilkan nilai yang lebih besar daripada gaya geser dasar dinamik, yang berarti perlu dilakukan penskalaan gaya gempa pada seluruh rekaman gempa.
4. Hasil perhitungan kinerja struktur berdasarkan ATC- 40 berdasarkan analisis riwayat waktu untuk seluruh rekaman gempa menunjukkan level kinerja *Immediate Occupancy* yang berarti bangunan struktur yang direncanakan aman jika terjadi gempa, resiko korban jiwa saat terjadi gempa dan kegagalan struktur saat gempa tidak terlalu berarti, struktur gedung tidak mengalami kerusakan dan dapat difungsikan kembali.

5.2 Saran

Dalam penelitian tugas akhir ini hanya menganalisis respon struktur berdasarkan ATC-40. Untuk itu penulis membirikan saran yang mungkin bermanfaat bagi pengembangan studi selanjutnya, yaitu:

1. Menggunakan akselerogram pada daerah lokasi penelitian.
2. Menggunakan dinding geser beton komposit.
3. Menggunakan data riwayat waktu wilayah Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE/SEI 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Ananda, A. (2020). *Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Baja Bertingkat Dengan Analisis Riwayat Waktu*. Bandung, Indonesia.
- Applied Technology Council. (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Applied Technology Council.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 tentang Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Ghosh, S. K., & Fanella, D. A. (2003). *Seismic and Wind Design of Concrete Buildings: (2000 IBC, ASCE 7-98, ACI 318-99)*. International Code Council, INC.
- Hasdanita, F. (2014). *Evaluasi Perilaku Struktur Bangunan Beton Bertulang Akibat Gempa dengan Metode Time History Analysis*. https://etd.unsyiah.ac.id/index.php?p=show_detail&id=9728
- Imran, I., & Hendrik. (2019). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. 2010, 2019.
- Khoeri, H. (2019). *Time History Analysis*. 28/03/2021. <https://hesa.co.id/time-history-analysis/>
- Natural Hazards Risks And Resiliency Research Center (NHR3). Juli 24, 2024. <http://ec2-35-167-122-9.us-west-2.compute.amazonaws.com/>
- Paulay, T., & Priestley, N. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. In *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering (Vol. 25)*. John Wiley & Sons, INC. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.25.4.362>
- PEER Ground Motion Database. (n.d). Juli 24, 2024. <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- Purwono, R. (2005). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya, 2005.
- Utami, A. (2019). Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Respon Spektrum Ditinjau pada Drift dan Displacement Menggunakan Software ETABS. *Jurnal Infrastruktur*, 4(1), 65-71.