

Peninjauan Nilai Kerapuhan Struktur Bangunan Beton Bertulang dengan Pendekatan Time History Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019

Piko Alamsyah¹

Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra, Indramayu

E-mail: pikoalamsyah16@gmail.com

Wachid Hasyim²

Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra, Indramayu

E-mail: wachidhasyim@unwir.com

Suharwanto³

Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra, Indramayu

E-mail: suharwanto@unwir.com

Abstrak

Indonesia berada dalam jalur *pacific ring of fire*, dimana terdapat 3 (tiga) lempeng tektonik utama (Indo-Australia, Eurasia, Pacific), sehingga Indonesia berada di jalur gempa teraktif di dunia. Studi kasus pada penelitian ini adalah bangunan gedung 4 lantai yang berlokasi di Tangerang yang mana masih menggunakan peraturan gempa SNI 1726 tahun 2012, sehingga perlu analisis perbandingan menggunakan SNI 1726 tahun 2019 untuk mengetahui kerentanan pada bangunan. Metode untuk menganalisis kerentanan dari suatu struktur adalah dengan membuat kurva kerapuhan dari struktur tersebut. Kurva kerapuhan ini merepresentasikan tingkat kerentanan bangunan tersebut terhadap beban yang ditinjau, yang dalam hal ini adalah beban gempa. Penelitian ini bertujuan untuk membuat kurva kerapuhan dari struktur gedung yang berada pada kota Tangerang. Metode yang digunakan adalah analisis riwayat waktu. Berdasarkan hasil yang didapatkan bahwa kemungkinan struktur akan mengalami *Extensice* dan *Complite* adalah sebesar 47% (2012) dan 2,7% (2019), yang berarti telah mengalami kerusakan yang signifikan. Dan begitu juga didapatkan bahwa kemungkinan struktur mengalami *Slight* atau kerusakan ringan sebesar 72,3% (2012) dan 85,8% (2019).

Kata kunci: Gempa, Kurva Kerapuhan, Riwayat Waktu.

Abstract

Indonesia is located on the Pacific Ring of Fire, where there are 3 (three) major tectonic plates (Indo-Australia, Eurasia, Pacific), so that Indonesia is on the most active earthquake path in the world. The case study in this study is a 4-story building located in Tangerang which still uses the earthquake regulations SNI 1726 of 2012, so a comparative analysis is needed using SNI 1726 of 2019 to determine the vulnerability of the building. The method for analyzing the vulnerability of a structure is to create a fragility curve of the structure. This fragility curve represents the level of vulnerability of the building to the load seen, which in this case is the earthquake load. This study aims to create a fragility curve of the building structure in the city of Tangerang. The method used is time history analysis. Based on the results obtained, the possibility of the structure experiencing Extensice and Complite is 47% (2012) and 2.7% (2019), which means that it has experienced significant damage. And it was also found that the possibility of the structure experiencing Slight or minor damage was 72.3% (2012) and 85.8% (2019).

Keywords: Earthquake, Fragility Curve, Time History.

1. PENDAHULUAN

Indonesia berada dalam jalur *pacific ring of fire*, dimana terdapat 3 (tiga) lempeng tektonik utama (*Indo-Australia, Eurasia, Pacific*), sehingga Indonesia berada di jalur gempa teraktif di dunia. (Wicaksana & Rosyidah, 2021) [1]

Selain itu, perkembangan kekuatan gempa dan meluasnya kerusakan bangunan mengakibatkan perlunya evaluasi terhadap kekuatan struktur bangunan-bangunan di Indonesia (terutama di wilayah *ring of fire*) untuk meminimalisir kerusakan bangunan dan korban jiwa akibat runtuhan bangunan pada saat terjadi gempa (Siswanto & Prijasambada, 2022) [2].

Pada umumnya analisis gempa menggunakan metode statik *ekuivalen* dan *pushover analysis*, sedangkan analisis dinamik menggunakan analisis respons spektrum dan time history analysis. Time history analysis terbagi menjadi dua yaitu *linear time history analysis* (LTHA) dan *non-linear time history analysis* (NLTHA). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Linear time history analysis* (LTHA), secara tepat dapat memperkirakan perilaku bangunan dalam kondisi layan, yaitu ketika perilaku pada dasarnya elastis dan dapat diperkirakan terjadinya kerusakan struktural terbatas. (Lombardi et al., 2019) [3].

Penelitian ini menggunakan kerapuhan atau *fragility* yang dimana Kerapuhan didefinisikan sebagai fungsi yang menggambarkan kemungkinan terlampaui suatu batas tertentu sesuai dengan tingkat getaran tanah (Sangadji et al., 2017) [4]. Fungsi ini menghubungkan antara intensitas gempa dengan kemungkinan terlampaui suatu batas tertentu. Oleh karena itu, fungsi kerapuhan merupakan parameter dari satu intensitas skalar yang mencerminkan intensitas seismik, seperti percepatan puncak tanah (peak ground acceleration), spektral percepatan (Sa), spektral perpindahan (Sd), atau intensitas lainnya (Bakalis & Vamvatsikos, 2018) [5].

Latar belakang penelitian ini dilakukan pada sebuah bangunan gedung yang berlokasi di Tangerang ini terdiri dari 4 lantai, sebagai studi kasus yang perhitungan beban gempanya masih memakai standar SNI 03-1726 tahun 2012 dengan nilai S_s 0,8g dan S_1 0,5g. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mendapatkan perbedaan besarnya perhitungan beban gempa serta hasil nilai kerentanan kerapuhan bangunan yang berdasarkan SNI 1726:2012 [6] dan SNI 1726:2019 [7].

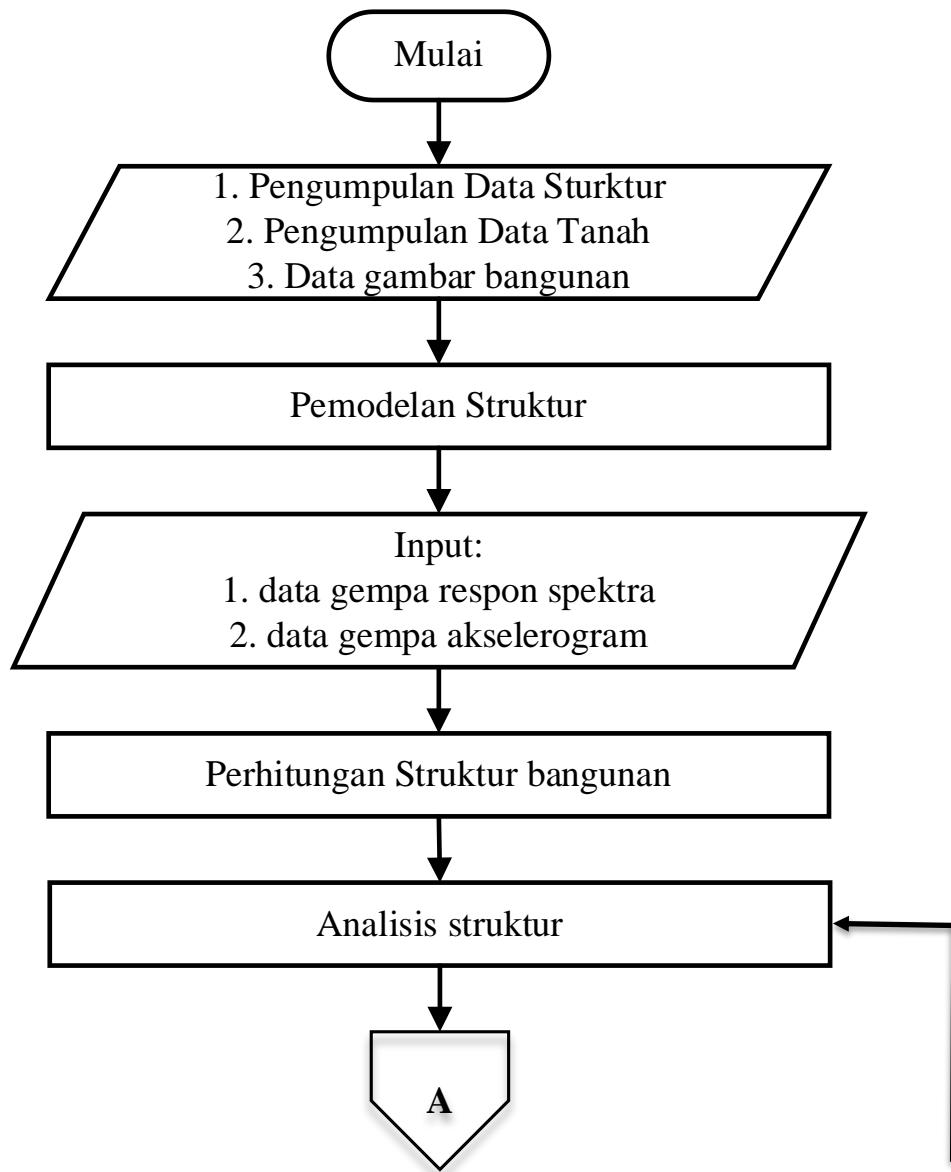
Tabel 1.1 Perbandingan isi SNI

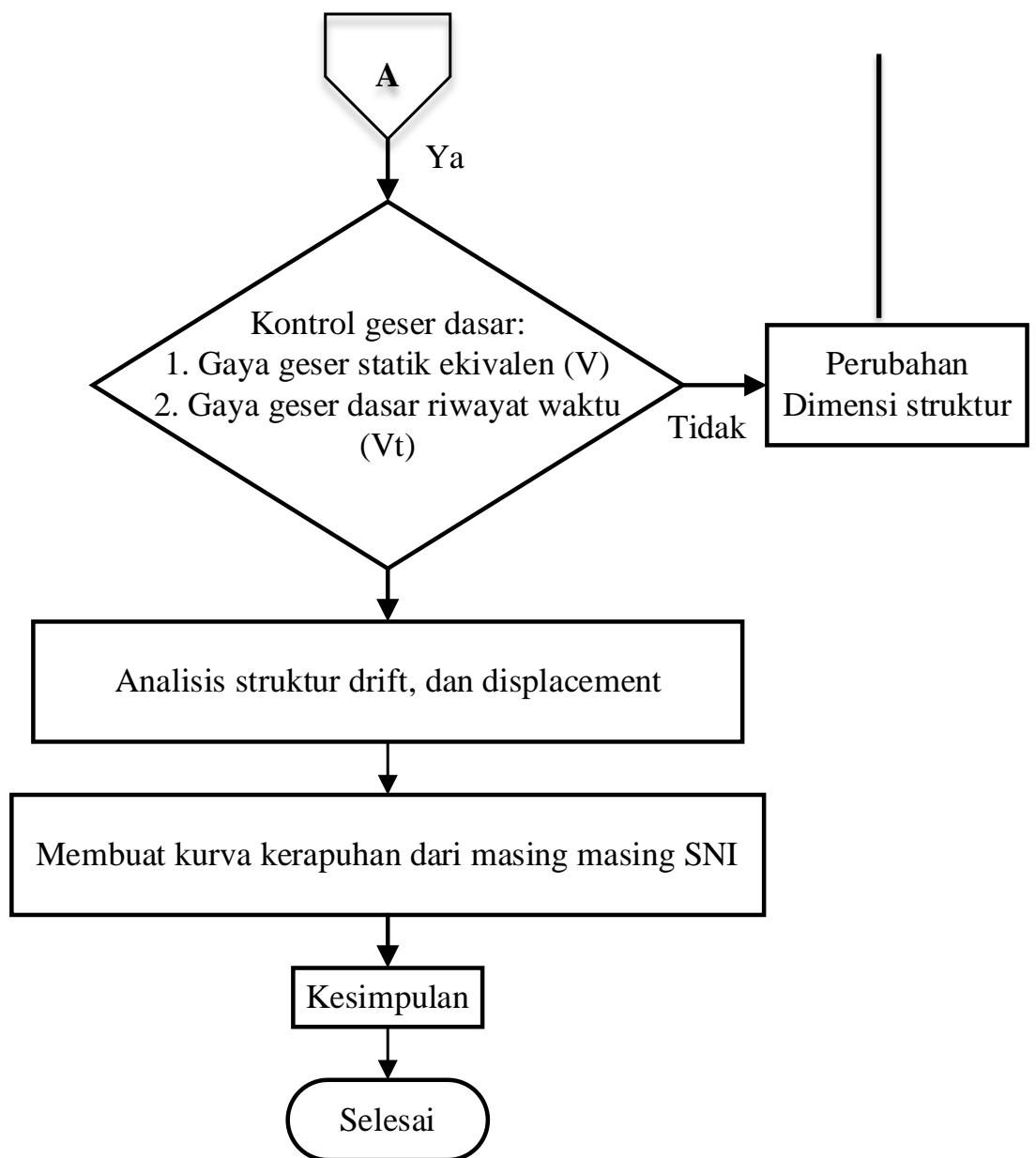
No	Kategori	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
1	Peta Gempa	Peta gempa SNI 1726:2012 menggunakan peta gempa 2010 sebagai acuan	Peta gempa SNI 1726:2019 menggunakan peta gempa 2017 sebagai acuan
2	Spektrum Respon Desain	Spektrum renpos desain SNI 1726:2012 memiliki tiga bagian dalam spektrum respon desain	Spektrum respons desain SNI 1726:2019 memiliki empat bagian dalam spektrum respons desain
3	Nilai Percepatan	Nilai percepatan respon spektrum (SDS dan SD1) mengalami peningkatan, dengan SDS meningkat dari 0,61g di SNI 1726:2012 menjadi 0,65g di SNI:2019	

No	Kategori	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
	Respon Spektrum		
4	Nilai Cs	nilai Cs untuk tanah lunak dan sedang relative lebih kecil (SNI pasal 7.8.1)	Nilai Cs untuk tanah lunak dan sedang mengalami peningkatan yang menunjukkan kebutuhan untuk desain yang lebih aman (SNI pasal 7.8.1)

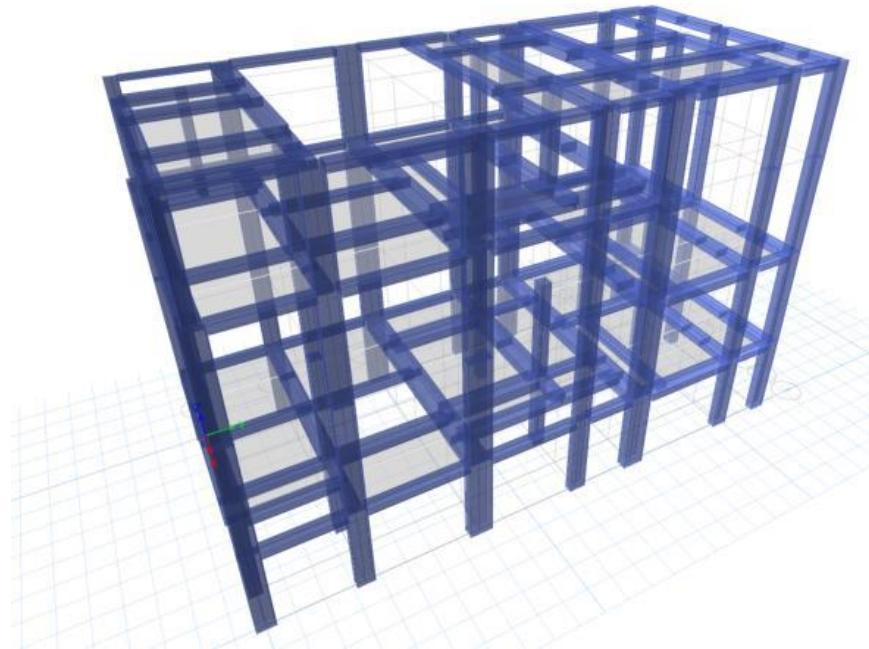
Sumber: SNI 1726:2012, 2012 dan SNI 1726:2019, 2019

2. METODE PENELITIAN





Gambar 1.1 Flow Chart Penelitian



Gambar 1.2 Model Struktur Gedung

Sumber: Penulis, 2025

Beban yang dimasukan:

a. Concrete Material:

Kolom/Wall	: K-250
Balok	: K-250
Pelat	: K-250
Pilecap	: K-250
Sloof	: K-250
Tangga	: K-250
Listplank dan lain-lain	: K-225
Non-struktural	: K-175
Lantai kerja	: K-125

b. Steel Material:

Semua Tulangan	: U-40, Ulir, D >= 10mm, Fy=3900 kg/cm ²
Tulangan polos	: U-24, polos, D < 10mm, Fy =2400 kg/cm ²
Baja Profil dan Pelat	: BJ-37, Fu=3700 kg/cm ² , Fy=2400 kg/cm ²
Wiremesh	: U-50

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis gempa menurut SNI 03-1726-2019, Pasal 11.2.1 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) yang menyebutkan bahwa satu atau lebih target respons spektra spesifik situs harus dikembangkan melalui *Spectra Matching Method*. Maka dalam analisis ini menggunakan 10 rekaman gempa (*Ground Motion*) yaitu Chi-chi, Chuetsu-oki, El Centro, Iwate, Chile, Northwest Calif, Umbria Marche, Imperial Valles, Kobe, Mammoth Lakes, karena 10 rekaman gempa tersebut mempunyai kesamaan Respon Spektrum Indonesia terutama di Tangerang.

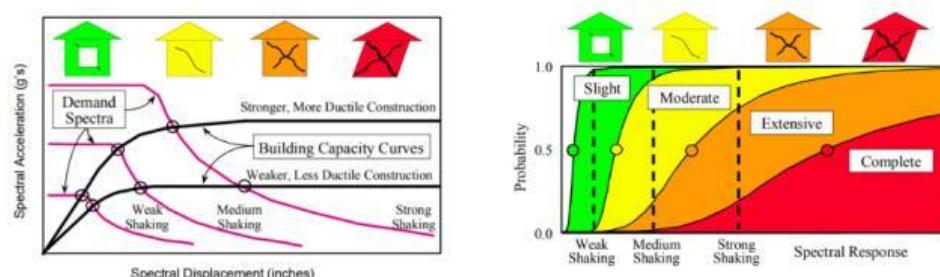
Tabel.3.1 Data gempa *accelerograms*

NO	Event	Lokasi	Tahun	M	R (km)	Vs30 (m/s)
1	Chi-chi	Taiwan	1999	5,6	56,17	226,01
2	Chuetsu-oki	Japan	2007	6,8	134,22	279,58
3	El Alamo	Meksiko	1956	6,8	121	213,44
4	Iwate	Japan	2008	6,9	121,81	242,55
5	Chile	Coastal chile	2015	8,31	165,203	225,8428
6	Northwest calif	Ferndale city hall	1951	5,8	53,73	219,31
7	Umbria marche	Italy	1997	5,6	51,72	313,07
8	Imperial valley	Amerika serikat	1951	5,6	24,58	213,44
9	Kobe	Japan	1995	6,9	158,07	256
10	Mammoth lakes	California	1980	6,06	4,48	346,82

Sumber: penulis, 2025

3.1 Metode Hazards United States (HAZUS)

Metode HAZUS (*Hazards United States*) adalah salah satu metode untuk membuat kurva kerapuhan pada setiap jenis kerusakan suatu struktur yang digunakan untuk mengestimasi tingkat kerusakan pada stuktur bangunan akibat gempa (FEMA-NIBS, 2020) [5]. Prosedur untuk mengestimasi kerusakan tersebut adalah Hazus-MH MR5, sebagai contoh ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kurva probabilitas kerapuhan untuk kerusakan bangunan
Sumber: Federal Emergency Management Agency

Secara umum, persamaan fungsi kerapuhan merupakan kurva log normal yang menghubungkan antara intensitas skalar terukur terhadap probabilitas terlampaui dari suatu batas tertentu (FEMA). Berikut rumus perhitungan untuk menentukan kerapuhan.

$$P[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right]$$

Dimana: Φ = fungsi distribusi kumulatif normal standar.

β_{ds} = standar deviasi lognormal dari spektral perpindahan terhadap suatu batas kerusakan (damage state) tertentu.

$S_{d,ds}$ = nilai tengah dari percepatan spektral perpindahan yang mencapai ambang batas kerusakan ds

Variabel S_d dapat digantikan menjadi parameter lainnya seperti percepatan puncak tanah (*peak ground acceleration*), percepatan spektral (S_a), ataupun parameter lainnya yang menggambarkan intensitas seismic (Frans & Arfiadi, 2021) (Rahman et al., 2022) [7] [8], sedangkan untuk damage state dapat disesuaikan dengan standar/acuan yang ingin digunakan.

Tabel 3.1 Damage State

Batas interstory drift	Damage State		
	Immediate Occupancy (IO)	Damage Control	Life Safety
Maximum total drift	0,01	0,01-0,02	0,02
Maximum inelastic drift	0,005	0,005-0,015	No Limit

Sumber: Atc, 1996

Dari hasil respon spektrum yang terbentuk, dapat diketahui nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* dari setiap masing-masing gempa dengan nilai *acceleration* pada periode 0. Nilai *PGA* untuk setiap gempa dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 PGA untuk masing-masing rekaman gempa

No	Rekaman Gempa	PGA x	PGA y
1	Chi-chi	0,296	0,322
2	Chile	0,249	0,233
3	Chuetsu-oki	0,253	0,255
4	El alamo	0,249	0,249
5	Imperial valley	0,270	0,256
6	Iwate	0,248	0,278
7	Kobe	0,269	0,270
8	Mammoth	0,276	0,311
9	Northwest	0,262	0,304
10	Umbria	0,255	0,289

Sumber: Penulis, 2025

Data Riwayat waktu (*time history*) yang diperoleh berupa gambar gelombang getaran gempa, dan selanjutnya data tersebut harus diolah dan dimodifikasi terlebih dahulu sesuai dengan percepatan gempa dimana model gedung di analisis. Ada 2 cara untuk melakukan modifikasi data gelombang gempa terebut, yaitu dengan spectral matching dan pembuatan skala *amplitude* (Nurhidayatullah & Ardiyanto, 2025) [9]. Pada kasus ini, bangunan gedung dianalisis kinerjanya dengan metode *spectral matching*. *Spectral matching* merupakan teknik yang digunakan untuk memastikan bahwa data gerakan tanah yang digunakan dalam analisis struktur sesuai dengan karakteristik

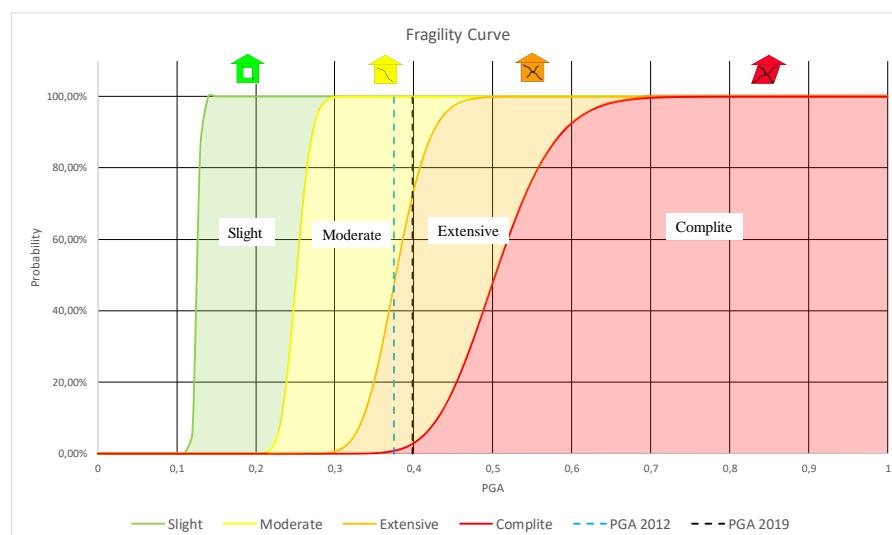
spektrum respons yang diharapkan (Yasa et al., 2025) [10]. Berikut 10 data Riwayat waktu gempa yang diperoleh:

Tabel 3.3 Displacement dan Drift Ratio arah X dan arah Y

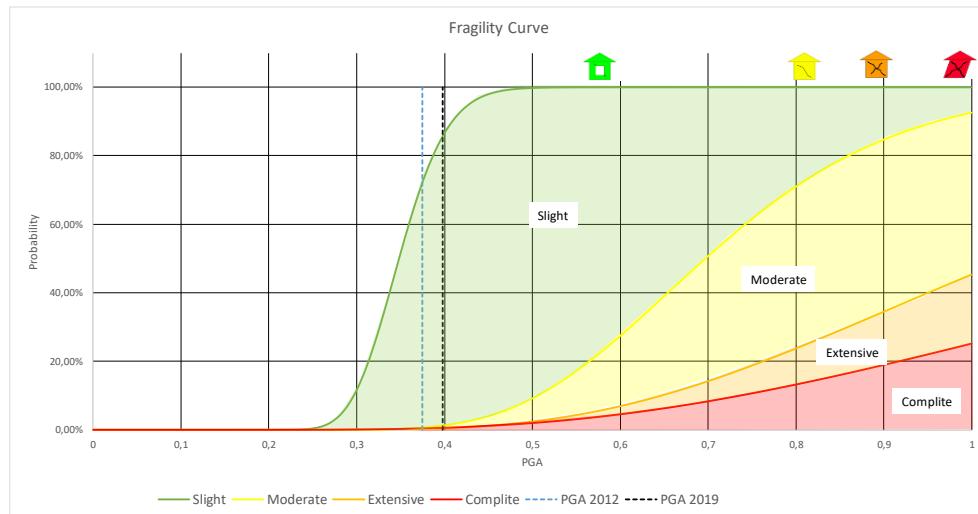
No	Lokasi gempa	Drift Ratio x (%)	Drift Ratio y (%)	Displacement y	Displacement x
1	Chi-chi	0,029	0,013	0,281	0,147
2	Chile	0,123	0,030	1,253	0,337
3	Chuetsu-oki	0,038	0,016	0,246	0,185
4	El alamo	0,041	0,025	0,421	0,289
5	Imperial valley	0,046	0,022	0,471	0,244
6	Iwate	0,035	0,010	0,365	0,110
7	Kobe	0,040	0,017	0,400	0,188
8	Mammoth	0,029	0,011	0,298	0,110
9	Northwest	0,045	0,012	0,458	0,138
10	Umbria	0,065	0,009	0,649	0,103

Sumber: Penulis, 2025

Kurva kerapuhan analisis dalam time history menggambarkan hubungan antara percepatan puncak tanah (*PGA*) dan probabilitas bahwa suatu tipe bangunan melebihi kondisi kerusakan tertentu, berdasarkan analisis dinamis linear yang mempertimbangkan data statistik dan model kerusakan. Gambar 3.2 dan 3.3 merupakan kurva atau grafik hasil analisis kerapuhan bangunan. Masing-masing garis pada kurva tersebut memperlihatkan probabilitas kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gaya gempa untuk arah X dan Y. Sumbu-X pada gambar tersebut adalah nilai *PGA* dan pada sumbu-Y adalah persentase kemungkinan mengalami damage states. Sebagai contoh, percepatan tanah maksimum yang didapatkan berdasarkan RSA-2012 dan RSA-2019 untuk Wilayah Tangerang sebesar 0,375g (2012) dan 0,398g (2019) untuk kondisi tanah sedang. Berikut hasil data yang diperoleh dari kurva kerapuhan:



Gambar 3.2 Kurva kerapuhan untuk arah x
Sumber: Penulis, 2025



Gambar 3.3 Kurva kerapuhan untuk arah y
Sumber:Penulis, 2025

Dari Gambar 3.2 dan 3.3, didapatkan bahwa kemungkinan struktur akan mengalami *Extensice* dan *Complate* adalah sebesar kondisi *Extensive* 47% (2012) dan *Extensive* 71,9% (2019) serta *Complate* 2,7% (2019), yang berarti telah mengalami kerusakan yang signifikan. Dan begitu juga pada Gambar 3.3 didapatkan bahwa kemungkinan stuktur mengalami *Slight* atau kerusakan ringan sebesar 72,3% (2012) dan 85,8% (2019).

4. KESIMPULAN

Dari bentuk kurva yang diperoleh tingkat kegagalan pada bangunan yang direncanakan menggunakan SNI 1726:2012 memiliki tingkat keamanan mencapai *Extensive* serta *Slight* dan untuk SNI 1726:2019 memiliki tingkat keamanan *Complate*, *Extensive* dan *Slight*.

Diharapkan dari penelitian selanjutnya bisa menempatkan dinding geser pada bagian sudut gedung nilai kurva kerapuhan pada arah x menunjukan kerusakan yang signifikan.

5. REFERENSI

- Atc, A. (1996). 40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. *Applied Technology Council*, 1, 334.
- Badan Standardisasi Nasional (b). (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Sni 1726:2012*, 8, 254.
- Badan Standardisasi Nasional (b). (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Sni 1726:2019*, 8, 254.
- Bakalis, K., & Vamvatsikos, D. (2018). Seismic Fragility Functions via Nonlinear Response History Analysis. *Journal of Structural Engineering*, 144(10). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002141](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002141)
- FEMA-NIBS. (2020). HAZUS Earthquake Model Technical Manual. *Federal*

- Emergency Management Agency, October.*
- Frans, R., & Arfiadi, Y. (2021). Analisis Fungsi Kerapuhan Struktur Dengan Menggunakan Analisis Riwayat Waktu. *Prosiding Seminar Nasional Riset Dan ...*, 1–8.
<https://journal.unpar.ac.id/index.php/ritektra/article/view/4847>
<https://journal.unpar.ac.id/index.php/ritektra/article/download/4847/3495>
- Lombardi, L., De Luca, F., & Macdonald, J. (2019). Design of buildings through Linear Time-History Analysis optimising ground motion selection: A case study for RC-MRFs. *Engineering Structures*, 192(August 2018), 279–295.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.066>
- Nurhidayatullah, E. F., & Ardiyanto, D. (2025). *Seismic Performance Study of Multi-storey Building Structures with Nonlinear Time History Analysis Method*. 9(1).
- Rahman, F., Idris, Y., Abdullah, A., & Asyifa, C. N. (2022). Pengembangan Kurva Kerapuhan Berbasis Incremental Dynamic Analysis Pada Bangunan Tipikal Puskesmas di Kota Banda Aceh Terhadap Bahaya Gempa. *Journal of The Civil Engineering Student*, 4(3), 246–252.
<https://doi.org/10.24815/journalces.v4i3.21275>
- Sangadji, S., Wibowo, N. A., Tropormera, E. N., Purwanto, E., & Kristiawan, S. A. (2017). Fragility function for assessing seismic risk of typical concrete bridge by means of nonlinear static and dynamic analysis. *MATEC Web of Conferences*, 138.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201713802005>
- Siswanto, S., & Prijasambada, P. (2022). Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Metode Pushover. *IKRAITH-Teknologi*, 7(1), 46–52.
<https://doi.org/10.37817/ikraith-teknologi.v7i1.2319>
- Wicaksana, A., & Rosyidah, A. (2021). Pembandingan Perancangan Bangunan Tahan Gempa Menggunakan SNI 1726:2012 Dan SNI 1726:2019. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 18(1), 88–99. <https://doi.org/10.30630/jirs.v18i1.416>
- Yasa, P. A., Hindhu, K., Kedaton, P., Prayoga, M. H., & Prastha, I. B. (2025). *Comparison of Equivalent Static , Response Spectrum , and Time History Seismic Load Methods on Domes*. 13(1), 97–109.