

METODE NUMERIK DAN ALAT KOMPUTASI UNTUK MENILAI KEANDALAN SISTEM INFRASTRUKTUR DAN KERENTANAN BAHAYA GEMPA

Sri Wanto¹, Sherly Devianty², Aprilia Wulandari³

^{1,2,3*}*Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Linggabuana PGRI Sukabumi*
¹ sriwanto@unlip.ac.id, ² devianty.21@gmail.com, ³ apriawulandr@gmail.com

ABSTRAK

Dalam setiap wilayah pada suatu daerah pasti memiliki kerentanan bahaya alam yang bisa merusak sebuah infrastruktur terutama pada bangunan tinggi. Indonesia adalah wilayah yang dimana sebagian besar dikelilingi oleh *ring of fair*. Keberadaan Ring of Fire yang meliputi wilayah Indonesia inilah yang menyebabkan rawan dilanda bencana gempa bumi hingga gunung meletus. Letak geografis Indonesia berada di wilayah Ring of Fire atau Cincin Api Pasifik, yakni pertemuan tiga lempeng tektonik dunia seperti Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Oleh sebab itu, Indonesia termasuk negara yang rawan dilanda bencana seperti gempa bumi, letusan gunung berapi hingga tsunami. Dengan adanya kerentanan bahaya alam yang berpotensi di wilayah Indonesia maka sangat diperlukan sebuah mitigasi atau penilaian keandalan sistem infrastruktur dan kerentanan bahaya gempa dalam setiap bangunan fasilitas umum yang ada. Dalam penilaian keandalan dan kerentanan bisa digunakan dengan metode numerik dan alat komputasi yaitu dalam artikel ini menyampaikan salah satu software yang bisa digunakan dalam membantu membuat pemodelan sebuah konstruksi dan bisa memprediksi kerentanan bahaya dari setiap tahap gempa yang diterima oleh bangunan tersebut. Dalam pemodelan ini juga bisa memprediksi seberapa besar beban gempa yang bisa diterima oleh bangunan ini sampai mengalami runtuh. Dalam penelitian ini analisa yang menggunakan metode *Analisis Pushover* dengan software *seismostruct* yang dimana nanti akan menghasilkan sebuah kurva kapasitas. Hasil dari kurva kapasitas maka bisa digunakan sebagai parameter untuk membuat kurva kerapuhan yaitu hubungan antara probabilitas dengan perpindahan dari respon spektral. Dari hasil kurva kerapuhan dapat diprediksi pada kondisi bagaimana bangunan tersebut mengalami kerusakan ringan, sedang, berat dan runtuh dengan asumsi beban gempa yang semakin meningkat.

Kata kunci: Analisis Pushover, Seismostruct, Kurva Kapasitas, Kurva Kerapuhan.

ABSTRACT

In every region, an area has a vulnerability to natural hazards that can damage infrastructure, especially tall buildings. Indonesia is a region that is mostly surrounded by the Ring of Fire. The existence of the Ring of Fire covering Indonesia is prone to earthquakes and volcanic eruptions. Indonesia's geographic location is in the Ring of Fire or Pacific Ring of Fire, namely the meeting of three world tectonic plates such as the Indo-Australian Plate, the Eurasian Plate, and the Pacific Plate. Therefore, Indonesia is a country that is prone to disasters such as earthquakes, volcanic eruptions, and tsunamis. With the potential vulnerability to natural hazards in Indonesia, mitigation or assessment of the infrastructure system and earthquake hazard vulnerability in every existing public facility building is very necessary. In acoustic and vulnerability assessments, numerical methods and computational tools can be used, namely in this article we present a piece of software that can be used to help model construction and predict the hazard vulnerability of each level of earthquake received by the building. This modeling can also predict how much earthquake load the building can accept until it collapses. In this research, the analysis uses the Pushover Analysis method with seismostruct software which will later produce a capacity curve. The results of the capacity curve can then be used as a parameter to create a fragility curve, namely the relationship between probability and displacement of the spectral response. From the results of the fragility curve, it can be predicted in what condition the building will experience light, moderate, and heavy damage and collapse with the assumption that the earthquake load will increase.

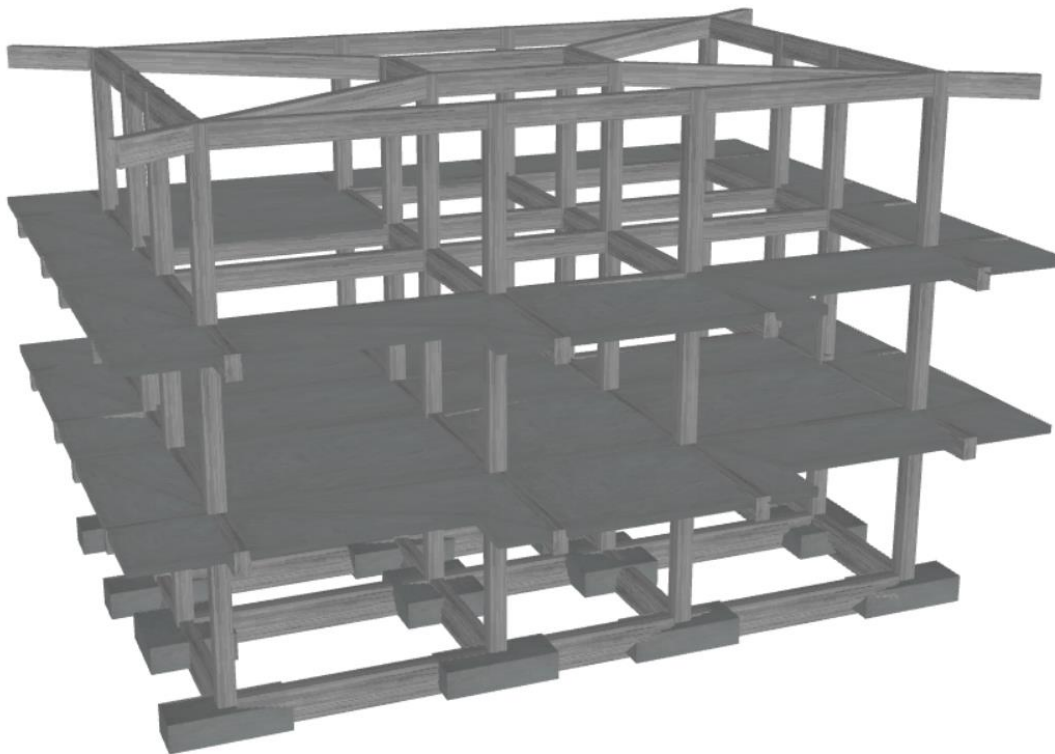
Keywords: Pushover Analysis, Seismostruct, Capacity Curve, Fragility Curve

1. PENDAHULUAN

Pada era digitalisasi ini sangat penting dalam penggunaan komputasi sebagai alat bantu menilai keandalan dan kerentanan bahaya alam seperti gempa dan sebagainya. Kelebihan dari penggunaan alat bantu komputasi seperti software bisa dilaksanakan dengan waktu yang cepat dan lebih akurat dibandingkan menggunakan analisa manual. Pada umumnya software digunakan untuk membuat pemodelan pada sebuah objek sebuah bangunan konstruksi dengan menginput beberapa parameter seperti penggunaan material, dimensi, dan metode perhitungan yang akan digunakan. Dalam artikel ini menyampaikan dan memberikan contoh dari penggunaan alat bantu komputasi dengan menggunakan software *seismostruct* yang dimana menggunakan metode analisa pushover yang menghasilkan sebuah kurva kapasitas dan microsoft excel yang dipakai untuk mengelola data dari kurva kapasitas maka diperoleh kurva kerapuhan/ kerentanan dari beban gempa yang diterima oleh konstruksi tersebut. Dari hasil analisa diatas bisa terlihat pada saat kapan bangunan tersebut menerima beban gempa mengalami tahap kerusakan ringan, sedang, dan runtuh, sehingga dari penilaian kerentanan diatas bisa diprediksi dan bisa direkayasa konstruksi fasilitas umum terutama pada daerah yang rawan gempa dengan melakukan beberapa perkuatan pada konstruksi tersebut. Dengan adanya alat bantu komputasi ini memudahkan kita dalam melakukan penilaian dan kerentanan bangunan dari bahaya alam seperti gempa, sehingga sebuah kerusakan maupun keruntuhan dari bangunan infrastruktur bisa dimitigasi lebih awal sebelum adanya bahaya alam yang terjadi seperti gempa, tsunami, badai maupun banjir bandang. Artikel ini mengajak dan memberikan pandangan bahwa di era digitalisasi ini kita dituntut untuk mempelajari dan menggunakan alat komputasi ini seperti software dan beberapa aplikasi digunakan untuk menganalisa dan evaluasi bangunan infrastruktur dengan cepat dan akurat, sehingga sangat penting dalam hal mempelajari sebuah software maupun aplikasi untuk mengikuti perkembangan teknologi dengan tujuan mempermudah dalam mitigasi dari bahaya alam.

2. MODELING

Dalam pemodelan ini menggunakan salah satu contoh bangunan bertingkat dengan menggunakan 3D Modeling pada bangunan eksisting.



Gambar 1. Pemodelan 3D
Sumber: Data Pribadi, 2024

Parameter Pemodelan

Dalam pemodelan ini juga menginput beberapa parameter yang digunakan seperti :

Batas Kerusakan

Limit States Select one or more limit states to be used in the checks

☒ **Limit State of Damage Limitation**

The structure is only lightly damaged with structural elements retaining their strength and stiffness. Non-structural components may show distributed cracking, but the damage could be economically repaired. Permanent drifts are negligible.

(DL)

Probability of Exceedance 20% / 50 years - Return Period 225 years

☒ **Limit State of Significant Damage**

The structure is significantly damaged with some residual lateral strength and stiffness. Several non-structural components are damaged. Moderate permanent drifts are present.

(SD)

Probability of Exceedance 10% / 50 years - Return Period 475 years

☒ **Limit State of Near Collapse**

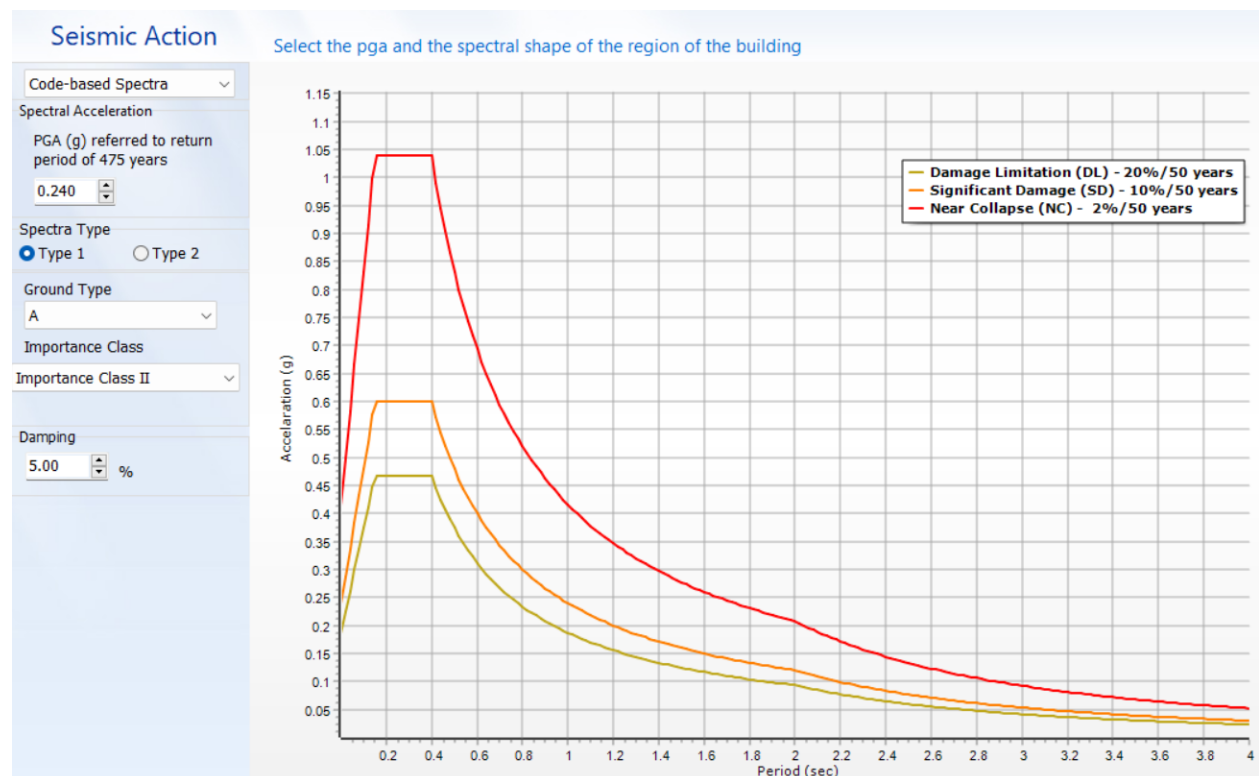
The structure is heavily damaged with low residual lateral strength and stiffness. Most non-structural components have collapsed. Large permanent drifts are present.

(NC)

Probability of Exceedance 2% / 50 years - Return Period 2475 years

Gambar 2. Parameter Batas Kerusakan
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Respon Spektra Gempa



Gambar 3. Parameter Respon Spektra Gempa
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024



Type Analysis

Analysis Type Select the linear or nonlinear procedure for the analyses

Nonlinear Static Procedure
Linear Static Procedure
Linear Dynamic Procedure
Nonlinear Static Procedure
Nonlinear Dynamic Procedure

Maximum Interstorey Drift (%) 2.000 Pushover Analysis Steps 50

Predefined Pattern Schemes
Eurocode 8

Pattern
☒ Uniform
☒ Modal
Uniaxial/Biaxial
☒ Uniaxial
☐ Biaxial
Accidental Eccentricity
☐ Without Eccentricity
☒ Single Eccentricity (eccX/eccY)
☐ Double Eccentricity (eccX+eccY)
Select All Deselect All
No. of Analyses: 16

No.	Type	Load Pattern	Combination
<input type="checkbox"/> No.1	Uniaxial without Eccentricity	Uniform	+ X
<input type="checkbox"/> No.2	Uniaxial without Eccentricity	Uniform	- X
<input type="checkbox"/> No.3	Uniaxial without Eccentricity	Uniform	+ Y
<input type="checkbox"/> No.4	Uniaxial without Eccentricity	Uniform	- Y
<input type="checkbox"/> No.5	Uniaxial without Eccentricity	Modal	+ X
<input type="checkbox"/> No.6	Uniaxial without Eccentricity	Modal	- X
<input type="checkbox"/> No.7	Uniaxial without Eccentricity	Modal	+ Y
<input type="checkbox"/> No.8	Uniaxial without Eccentricity	Modal	- Y
<input checked="" type="checkbox"/> No.9	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	+ X + eccY
<input checked="" type="checkbox"/> No.10	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	+ X - eccY
<input checked="" type="checkbox"/> No.11	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	- X + eccY
<input checked="" type="checkbox"/> No.12	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	- X - eccY
<input checked="" type="checkbox"/> No.13	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	+ Y + eccX
<input checked="" type="checkbox"/> No.14	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	+ Y - eccX
<input checked="" type="checkbox"/> No.15	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	- Y + eccX
<input checked="" type="checkbox"/> No.16	Uniaxial with Eccentricity	Uniform	- Y - eccX
<input checked="" type="checkbox"/> No.17	Uniaxial with Eccentricity	Modal	+ X + eccY
<input checked="" type="checkbox"/> No.18	Uniaxial with Eccentricity	Modal	+ X - eccY

Gambar 4. Parameter Type Analisis
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Penentuan Safety Factor

Knowledge Level Select the Knowledge Level, based on the available structural data

	Knowledge Level 1	Knowledge Level 2	Knowledge Level 3
Geometry	From original outline construction drawings with sample visual survey or from full survey	From original outline construction drawings with sample visual survey or from full survey	From original outline construction drawings with sample visual survey or from full survey
Details	Simulated design in accordance with relevant practice and from limited in-situ inspection	From incomplete original detailed construction drawings with limited in-situ inspection or from extended in-situ inspection	From original detailed construction drawings with limited in-situ inspection or from comprehensive in-situ inspection
Materials	Default values in accordance with standards of the time of construction and from limited in-situ testing	From original design specifications with limited in-situ testing or from extended in-situ testing	From original test reports with limited in-situ testing or from comprehensive in-situ testing
Confidence Factor	CF = 1.35	CF = 1.20	CF = 1.00

Confidence Factor 1.200 Custom value

Gambar 5. Parameter Safety Factor
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Koefisien Beban

Loads Coefficients

Select the permanent and live loads coefficients

Permanent Loads Coefficient C_g

1.000

Live Loads Coefficient C_q

0.300

Gambar 6. Parameter Koefisien Beban
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Bagian mana yang akan ditinjau

Checks

Select the checks to be carried out

Superstructure

☒ Members Chord Rotations

☐ Joints Shear Forces

☒ Members Shear Forces

☐ Joints Horizontal Hoops Area

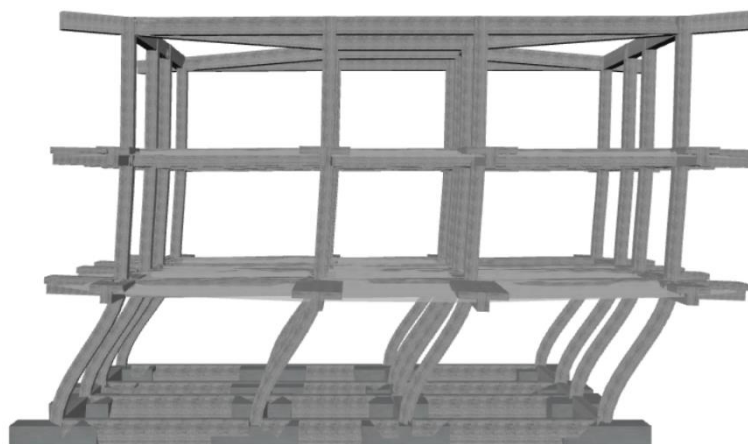
☐ Joints Vertical Reinforcement Area

Gambar 7. Parameter Peninjau
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

3. METHODE

3.1 Non Linier Static (Pushover) Analysis

Secara umum metode ini sering disebut analisis pushover, dimana perilaku struktur dianalisis dengan menerapkan pola pembebanan statis inkremental yang ditentukan oleh arah lateral simpul kolom balok pada model struktur. Beban massa pada setiap lantai ditempatkan dalam bentuk beban seragam pada model ini. Hasil dari metode pushover ini adalah kurva kapasitas yang menggambarkan gaya geser dasar sebagai fungsi perpindahan lateral struktur.



Gambar 8. Struktur Analisis Pushover
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Gambar 8 diatas menunjukkan deformasi bangunan eksisting akibat beban pushover.

Dari Gambar 5 di atas terlihat bahwa kolom mengalami perubahan deformasi cukup besar akibat dari beban pushover.

3.2 Kurva Kerapuhan

Kurva kerapuhan digunakan untuk menentukan kemungkinan kerusakan struktural berdasarkan parameter permintaan (intensitas gempa) selama masa pakainya. Parameter tersebut adalah intensitas guncangan tanah berupa Peak Ground Acceleration (PGA), Peak Ground Velocity (PGV) atau perpindahan spektral selama periode tertentu. Fungsi kerapuhan dapat dinyatakan dengan persamaan (1).

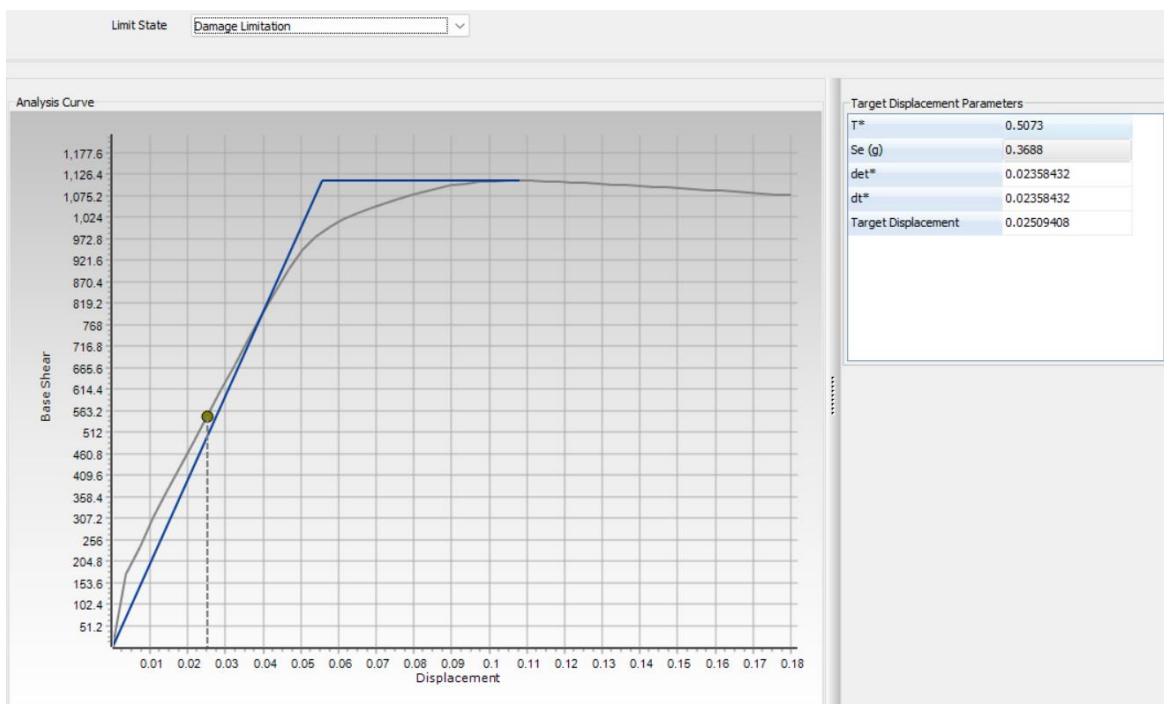
$$P_f[d_s \geq d_{si} | IM] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{IM}{IM_{mi}} \right) \right] \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

Pf adalah probabilitas bersyarat untuk berada atau melampaui tingkat kerusakan tertentu, DS adalah ukuran intensitas gempa, IM adalah fungsi kumulatif standar, IMmi adalah nilai median intensitas gempa yang menyebabkan status kerusakan ke-i, dan total adalah dispersi yang mewakili total deviasi standar. Parameter intensitas gempa IM dapat mencakup percepatan/kecepatan/perpindahan puncak tanah, percepatan spektral, kecepatan spektral, atau perpindahan spektral. Dalam makalah ini, perpindahan spektral, Sd, dipilih sebagai parameter intensitas gempa sebagai cara mudah untuk menghubungkan tingkat kerusakan. Ini menunjukkan kapasitas pasca-elastis yang lebih tinggi.

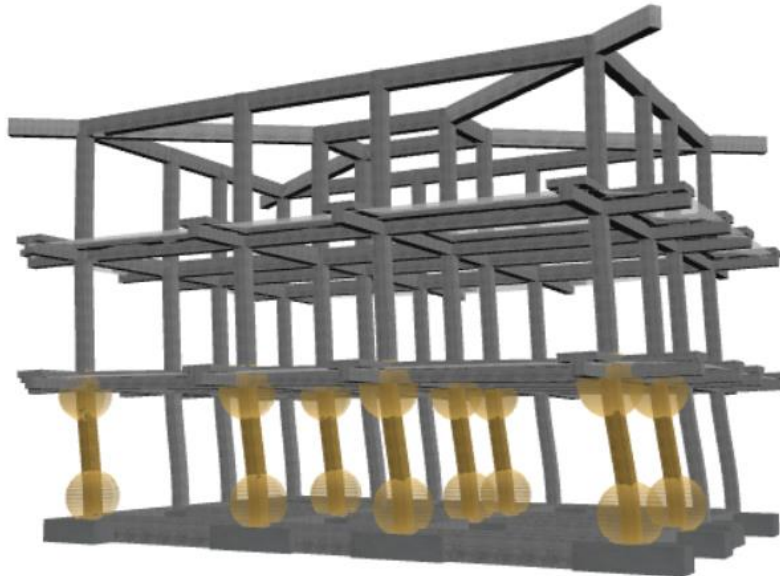
4. HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil analisa pemodelan diatas menghasilkan sebuah kurva kapasitas seperti yang terlihat pada Gambar 9 yaitu sebuah kurva yang menghubungkan antara gaya geser dasar dengan perpindahan.



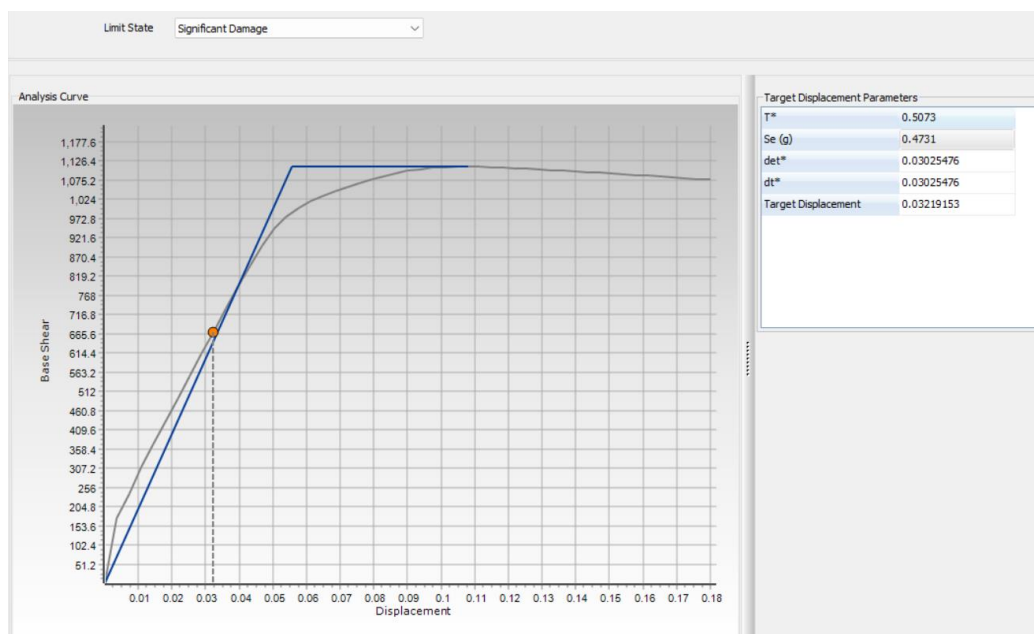
Gambar 9. Kurva Kapasitas Pada Batas Kerusakan
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Dari kurva ini menunjukkan bahwa pada perpindahan 0.025 m struktur sudah mulai mengalami batas kerusakan dengan gaya geser dasar 550 kN. Seperti yang terlihat pada Gambar 10 menunjukkan indikator sudah mulai ada kerusakan yang bersifat *cord rotation member*.



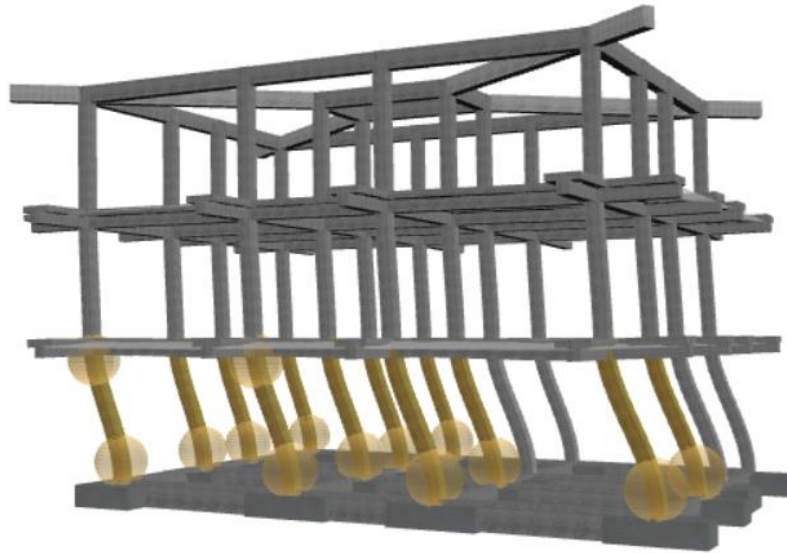
Gambar 10. Deformasi Pada Batas Kerusakan
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Melihat dari gambar diatas menunjukkan bahwa terdapat 8 kolom yang mengalami batas kerusakan dipelihatkan dengan indikator pada nodal dan pada kolom berwarna kuning. Sedangkan pada kolom dan pada nodal lainnya masih dinyatakan belum mengalami batas kerusakan dengan tidak munculnya indikator warna pada konstruksi tersebut.

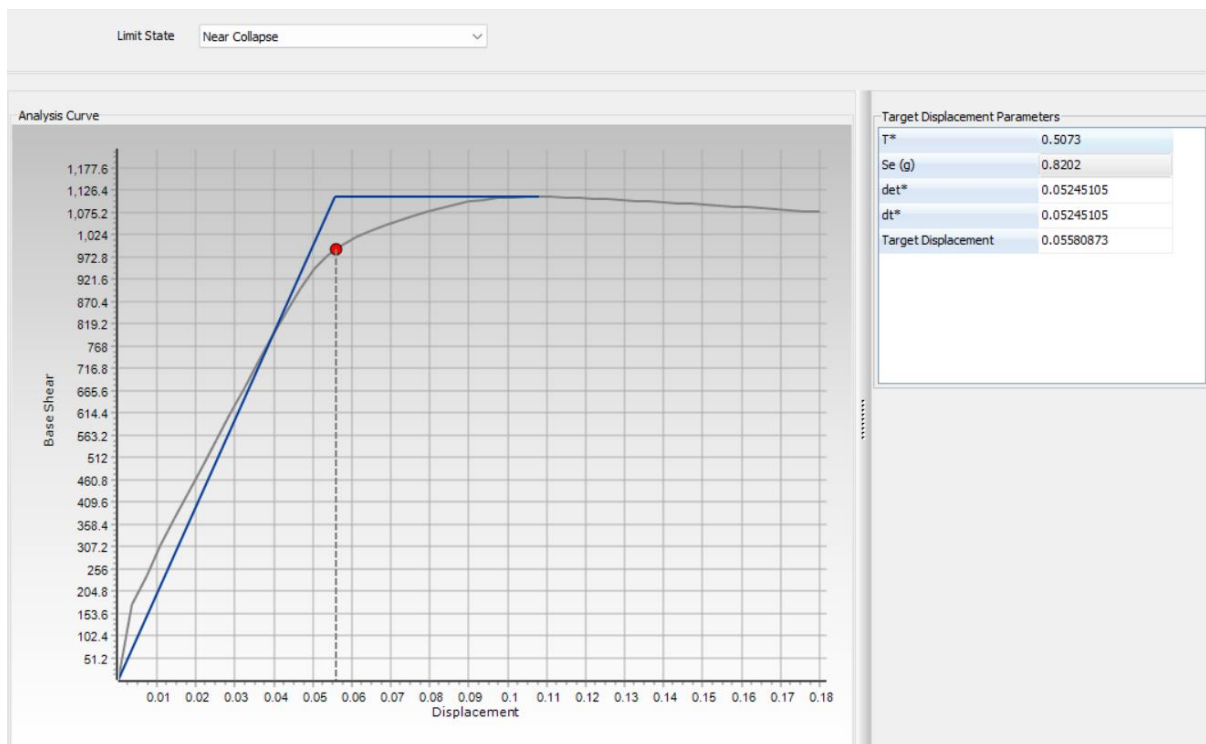


Gambar 11. Kurva Kapasitas Pada Batas Kerusakan Signifikan
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Dari kurva ini menunjukkan bahwa pada perpindahan 0.032 m struktur sudah mulai mengalami batas kerusakan signifikan dengan gaya geser dasar 672 kN. Seperti yang terlihat pada Gambar 12 menunjukkan indikator sudah mulai ada kerusakan signifikan.

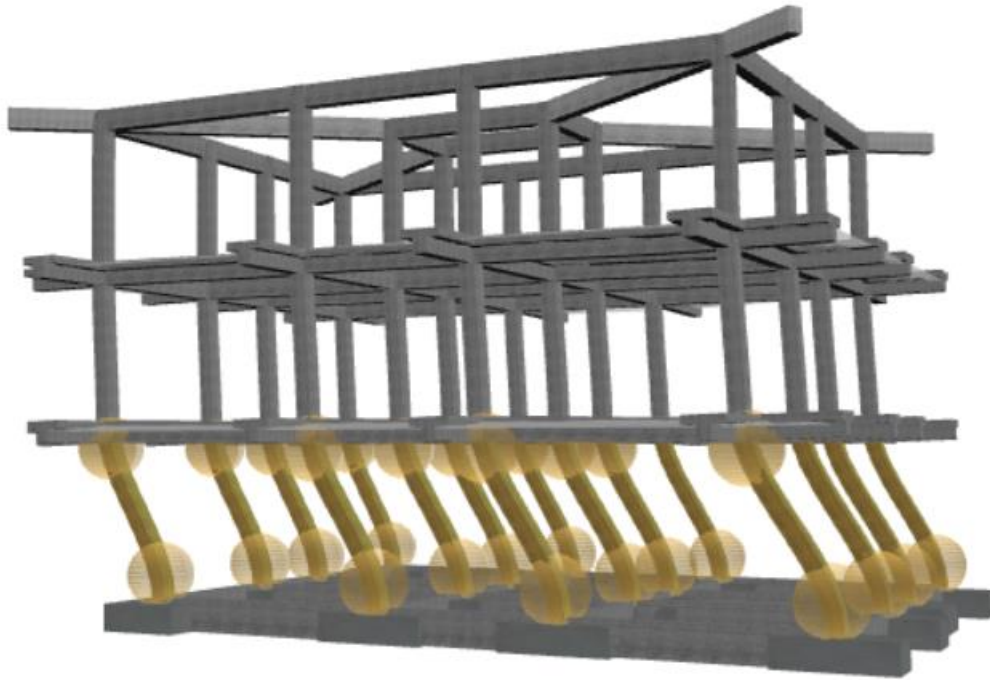


Gambar 12. Deformasi Pada Batas Kerusakan Signifikan
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024



Gambar 13. Kurva Kapasitas Pada Batas Kerusakan Hampir Runtuh
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

Dari kurva ini menunjukkan bahwa pada perpindahan 0.055 m struktur sudah mulai mengalami batas kerusakan hampir runtuh dengan gaya geser dasar 977 kN. Seperti yang terlihat pada Gambar 14 menunjukkan indikator sudah mulai ada kerusakan hampir runtuh.



Gambar 14. Deformasi Pada Batas Kerusakan Signifikan
Sumber: Pengolahan Data Pribadi, 2024

DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, A., Ferreira, R., Proença, J. M., & Gago, A. S. (2017). Seismic retrofit of RC building structures with Buckling Restrained Braces. *Engineering Structures*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.09.036>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi , pemeliharaan dan penilaian kelayakan dan bangunan gedung dan nongedung sebagai revisi struktur bangunan gedung dan nongedung ; Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun. *Sni 1726 : 2019*, 8, Herman Kurnianto, D., Teoretis dan Terapan Bidan.
- Cristina, C., Pop, M., Cismasiu, C., Timea, J., & Popa, A. (2017). Seismic retrofitting of an existing steel structure. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 17(62). <https://doi.org/10.5593/sgem2017/62/S26.051>
- Devi, R. H., Sangadji, S., & Saifullah, H. A. (2020). Fragility curve of low-to-mid-rise concrete frame retrofitted with FRP. *E3S Web of Conferences*, 156. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015603006>
- Hapsari, I. R., Kristiawan, S. A., Sangadji, S., & Gan, B. S. (2023). Damage States Investigation of Infilled Frame Structure Based on Meso Modeling Approach. *Buildings*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/buildings13020298>
- Hu, S., & Wang, W. (2021). Comparative seismic fragility assessment of mid-rise steel buildings with non-buckling (BRB and SMA) braced frames and self-centering energy-absorbing dual rocking core system. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106546>



- Rahma, M., Sangadji, S., Virawan, Z. F., Saifullah, H. A., & Devi, R. H. (2023). Evaluating Retrofitting Strategies of Low-to-Mid-Rise Reinforced Concrete Structure Based on Its Seismic Fragility. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(2). <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.2.17480>
- Wanto, S., Sangadji, S., & Saifullah, H. A. (2023). Seismic retrofitting of existing steel structures with X-bracing. *AIP Conference Proceedings*, 2482(February). <https://doi.org/10.1063/5.0112776>
- Zaker Esteghamati, M., & Farzampour, A. (2020). Probabilistic seismic performance and loss evaluation of a multi-story steel building equipped with butterfly-shaped fuses. *Journal of Constructional Steel Research*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106187>