

# Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa Dengan Metode Pushover (Studi Kasus: Gedung Presisi 3 Mabes Polri)

Hilda Febriyani Pratiwi<sup>1</sup>, Istiqomah<sup>2</sup>, Ben Novarro Batubara<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Indonesia

Jalan Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung, Jawa Barat

<sup>1</sup>E-mail: hildafebriyani335@gmail.com

*Abstract — Indonesia is located in the Ring of Fire and at the convergence of three tectonic plates, resulting in a high risk of earthquakes. This study aims to assess the structural resilience of the Presisi 3 Building at the Indonesian National Police Headquarters against earthquake loads and to determine the structural performance level based on displacement. The research method used is descriptive quantitative. The analysis was conducted using the response spectrum, equivalent static, and pushover methods with ETABS 18.1. The results indicate variations in maximum drift and displacement across each method. The pushover analysis produced a performance point with a base shear of 56,270.2575 kN and a displacement of 461.685 mm in the x-direction, as well as a base shear of 49,926.4545 kN and a displacement of 565.955 mm in the y-direction. According to ATC-40 and FEMA-440, the structure is classified at the Immediate Occupancy (IO) performance level, indicating that it remains safe and functional after an earthquake.*

*Keywords: displacement; equivalent static; inter-story drift; pushover; response spectrum.*

*Abstrak — Indonesia berada di kawasan ring of fire dan pertemuan tiga lempeng tektonik, sehingga memiliki risiko gempa tinggi. Penelitian ini bertujuan menilai ketahanan struktur Gedung Presisi 3 Mabes Polri terhadap beban gempa serta menentukan level kinerja struktur berdasarkan perpindahan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Analisis dilakukan dengan metode respon spektrum, statik ekuivalen, dan pushover menggunakan ETABS 18.1. Hasil menunjukkan perbedaan simpangan dan perpindahan maksimum pada tiap metode. Analisis pushover menghasilkan performance point dengan gaya geser 56,270.2575 kN dan perpindahan 461.685 mm pada arah x, serta gaya geser 49,926.4545 kN dan perpindahan 565.955 mm pada arah y. Berdasarkan ATC-40 dan FEMA-440, struktur berada pada level Immediate Occupancy (IO), sehingga tetap aman dan dapat difungsikan kembali setelah gempa.*

*Kata Kunci: perpindahan; pushover; respon spektrum; simpangan antar tingkat; statik ekuivalen.*

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang termasuk ke dalam jajaran negara ring of fire sehingga menyebabkan rawan dilanda gempa hingga gunung meletus. Selain itu, Indonesia terletak di pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik, ketika 3 lempeng tektonik tersebut saling bertumbukan Indonesia memiliki potensi gempa megathrust. Serta gempa bumi di Indonesia diakibatkan pergerakan sesar yang masih aktif. Efek getaran akibat gempa akan berbeda – beda tergantung kepada karakteristik atau bentuk struktur bangunan serta jenis tanah tempat bangunan itu berdiri. Guna mencegah keruntuhan yang terjadi, perlu diperhatikan pemikul beban gempa dengan kinerja yang baik dalam merencanakan bangunan gedung. Saat gempa itu terjadi struktur yang direncanakan harus memiliki kekuatan dan kekakuan yang diperlukan untuk memastikan bahwa struktur tetap berdiri meskipun telah berada di ambang keruntuhan.

Tingkat kerusakan dapat diminimalkan melalui penerapan desain bangunan tahan gempa. Di Indonesia, perencanaan bangunan tahan gempa mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726-2019 tentang "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," yang memperhitungkan peningkatan kekuatan struktur dalam menahan gaya lateral akibat gempa. Metode analisis yang dapat dilakukan untuk mengetahui dan menilai reaksi struktur bangunan terhadap beban gempa, dapat dilakukan dengan analisis statik atau analisis dinamik. Metode analisis statik mencakup analisis statik ekuivalen (linier) dan analisis pushover (non – linier). Untuk metode analisis dinamik mencakup analisis respon spektrum (linier) dan analisis time history (non – linier). Perhitungan gempa umumnya dilakukan menggunakan analisis statik ekuivalen (linier) dan analisis respon spektrum (linier), namun beberapa peneliti berpendapat bahwa metode ini kurang efektif untuk

memahami respons struktur terhadap gempa besar. Hal ini disebabkan oleh terjadinya plastifikasi di beberapa bagian struktur, yang menyebabkan bangunan tidak lagi berperilaku linier melainkan non-linier. Oleh karena itu, analisis pushover (non – linier) dan analisis time history (non – linier) diperlukan untuk mengevaluasi perilaku struktur saat mengalami gempa besar. Analisis time history dianggap terlalu kompleks dan kurang praktis untuk digunakan dalam perancangan bangunan. Oleh karena itu, dikembangkan metode baru yang lebih sederhana, yaitu analisis statik non-linier atau pushover analysis (Utami & Warastuti, 2017). Dalam penelitian ini akan menggunakan analisis pushover. Analisis pushover merupakan metode analisis non-linear yang digunakan untuk mengevaluasi perilaku keruntuhan suatu bangunan akibat gaya gempa. Hasil analisis pushover dapat menggambarkan kondisi struktur saat berada dalam fase elastis, plastis, hingga mencapai kondisi runtuh atau mengalami kegagalan (Siswanto & Prijasambada, 2023). Analisis ini secara bertahap menambah beban hingga melampaui ambang batas yang menyebabkan terbentuknya sambungan plastis pertama, yang dikenal dengan proses yielding. Selain itu, beban lebih lanjut diterapkan sampai struktur mengalami deformasi signifikan yang melebihi batas elastisnya, hingga akhirnya memasuki kondisi plastis (Cindy, 2024). Analisis ini dapat memberikan gambaran tentang pola keruntuhan bangunan ketika terkena gaya gempa yang melebihi kapasitasnya, apakah bangunan langsung runtuh atau masih mampu berperilaku non-linier sebelum mengalami keruntuhan total (Utami & Warastuti, 2017). Kawasan Sesar Baribis yang membentang sepanjang 100 km dari Purwakarta hingga Rangkasbitung. Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang terletak di Jl. Trunojoyo No.3, RT.5/RW.1, Selong, Kebayora Baru, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta, menjadi kawasan yang dilalui oleh Sesar Baribis. Sesar Baribis memiliki potensi gempa maksimum 6.8 skala Richter. Penelitian ini akan menganalisis kinerja struktur akibat beban gempa pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri dengan metode pushover. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai simpangan maksimum yang terjadi akibat beban gempa, mengetahui nilai perpindahan maksimum yang terjadi akibat beban gempa, mengetahui besarnya gaya geser yang diterima struktur ketika terjadi *performance*

*point* dengan metode pushover dan mengetahui level kinerja struktur yang terjadi akibat beban gempa berdasarkan pedoman ATC – 40 dan FEMA – 440.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Konsep Dasar Gempa

Gempa bumi tidak dapat diprediksi, sehingga diperlukan analisis kekuatan struktur bangunan baik sebelum maupun sesudah gempa sebagai langkah mitigasi. Struktur yang kuat dan tahan gempa penting untuk meminimalkan kerusakan serta menjamin keselamatan penghuni pada bangunan gedung maupun non-gedung (Setiawan, 2021).

Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat beban gempa itu. Gempa mengakibatkan beban pada struktur karena interaksi tanah dengan struktur dan karakteristik respons struktur. Beban gempa merupakan beban yang sulit untuk diperkirakan baik besarnya, arahnya, maupun saat terjadinya. Besarnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari variabel yang ada (Aulia, 2021).

### 2.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Konfigurasi struktur sangat berpengaruh terhadap kinerja seismik. Bangunan dengan konfigurasi tidak teratur lebih rentan karena konsentrasi respons inelastis terjadi pada zona diskontinuitas geometris, massa, atau kekakuan, sehingga saat daktilitas terlampaui, bangunan berisiko runtuh (Amajida, 2023).

Dalam SNI 1726-2019 juga dijelaskan mengenai persyaratan yang harus dipenuhi untuk bangunan tahan gempa. Prinsip dasar untuk bangunan tahan gempa sebagai berikut:

1. Kesederhanaan;
2. Keseragaman;
3. Simetri.

### 2.3 Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Dalam perencanaan struktur dan evaluasi beban gempa, terdapat berbagai metode yang dikategorikan menjadi analisis linier dan nonlinear, serta statik dan dinamik. Analisis linear mencakup analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum. Sementara itu, analisis non linier terdiri dari analisis statik beban dorong (pushover) dan analisis dinamik riwayat waktu (*time history*).

## 1. Analisis Statik

Terdapat dua analisis statik yakni analisis statik ekuivalen dan pushover atau analisis gaya dorong statik. Tujuan analisis statik adalah untuk menyederhanakan proses perhitungan. Salah satu prosedur analisis statik yang umum diterapkan dalam perencanaan struktur bangunan adalah analisis beban gempa nominal statik ekuivalen. Dalam analisis ini, diasumsikan bahwa gaya horizontal yang dihasilkan oleh beban gempa pada elemen struktur ditentukan dengan mengalikan suatu koefisien atau konstanta dengan berat atau massa elemen – elemen tersebut (Hutahean, Napitupulu, & Nduru, 2020).

### a. Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statis ekuivalen (juga disebut sebagai gaya lateral ekuivalen, metode ELF) adalah jenis analisis paling sederhana yang digunakan untuk menilai respons seismik struktur. Diasumsikan bahwa perilakunya adalah elastis linier (yang sesuai dengan linieritas material), sedangkan non-linieritas geometris, yaitu efek orde kedua ( $P - \Delta$ ), dapat dipertanggungjawabkan secara implisit. Beban horizontal yang dianggap setara dengan gaya gempa diterapkan di sepanjang ketinggian struktur dan dikombinasikan dengan beban vertikal (gravitasi). Metode analisis struktural digunakan untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan untuk sistem MDOF, misalnya persamaan  $R = F(t)$  di mana vektor gaya pemulihan dapat diasumsikan sebanding dengan vektor perpindahan nodal struktur. Metode penilaian ini memberikan perkiraan perkiraan deformasi struktur hingga terjadinya inelastisitas yang signifikan. Namun, ini mengabaikan fitur respons penting, seperti redistribusi gaya internal, efek histerisitas, kekakuan dan degradasi kekuatan, dan lain-lain (Elnashai & Sarno, 2008).

### b. Analisis Pushover

Analisis pushover merupakan metode statis nonlinier untuk menilai kekuatan dan respons seismik struktur dengan memberikan beban lateral bertahap hingga tercapai perpindahan target atau runtuh. Proses ini memantau perkembangan retak, leleh, hingga kegagalan, serta mencatat hubungan geser dasar dengan perpindahan simpul kontrol untuk menghasilkan kurva kapasitas (Dahal, Adhikari, Thapa, Devkota, & Arayal, 2025).

Dalam metode ini, beban horizontal atau perpindahan diterapkan pada struktur untuk

mensimulasikan gaya inersia. Intensitas beban ditingkatkan hingga struktur mencapai kapasitas maksimum dan berakhir pada kondisi batas akhir, yaitu saat struktur mengalami kegagalan atau keruntuhan total (Elnashai & Sarno, 2008). Analisis pushover bertujuan untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi, serta mengidentifikasi bagian-bagian kritis pada struktur. Selain itu, analisis ini membantu menentukan elemen yang memerlukan perhatian khusus dalam hal pendetailan atau stabilitasnya.

## 2. Analisis Dinamik

Analisis beban dinamik adalah cara analisis struktur, pembagian gaya geser gempa seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur (Hutahean, Napitupulu, & Nduru, 2020). Untuk bangunan gedung yang tinggi atau yang memiliki bentuk dan konfigurasi tidak beraturan, analisis dinamik diperlukan guna mengevaluasi respons dinamik struktur dengan lebih akurat. Analisis dinamik dikelompokkan menjadi dua, yaitu analisis respon spektrum dan analisis *time history*.

### a. Analisis Respon Spektrum

Analisis respon spektrum ini merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan respons dinamis dari struktur gedung tiga dimensi yang sepenuhnya berperilaku elastis terhadap pengaruh gempa. Analisis ini dikenal sebagai metode ragam spektrum respons, di mana respons dinamis total bangunan diperoleh melalui superposisi respons dinamis maksimum dari masing-masing ragam, yang dihitung berdasarkan spektrum respons gempa rencana (SNI 1726, 2002).

Analisis ragam spektra respons dapat digunakan untuk menentukan respons elastis struktur gedung multi derajat kebebasan tak beraturan, berdasarkan fakta bahwa respons struktur merupakan superposisi respons terhadap setiap getarannya. Jumlah ragam getar yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan repsons total harus mencapai sekurang – kurangnya 90% (Amajida, 2023).

### b. Analisis Time History

Analisis riwayat waktu adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik

struktur bangunan gedung yang berperilaku non linier terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana sebagai data masukan, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi bertahap. Beban gempa merupakan fungsi dari waktu, sehingga respon yang terjadi pada struktur gedung juga tergantung dari waktu pembebanan (Safitri & Rizki, 2023). Di sisi lain, analisis riwayat waktu dapat menggambarkan sifat dinamis tersebut melalui percepatan gempa dan respons struktur bangunan. Pada analisis dengan metode time history, permukaan tanah pada lokasi struktur di berikan percepatan sesuai dengan rekam percepatan terhadap waktu dari data gempa yang pernah terjadi. Akibat percepatan ini, lalu respons struktur terhadap gempa diamati sebagai acuan perilaku (Trangipani, Wirawan, & Wiryadi, 2022).

## 2.4 Level Kinerja Struktur

### 1. ATC – 40

Metode ATC-40 mengevaluasi kinerja struktur bangunan menggunakan pendekatan spektrum kapasitas (capacity spectrum). Dalam metode ini, kapasitas struktur direpresentasikan sebagai hubungan antara gaya dorong total (base shear) dan perpindahan lateral pada atap atau puncak bangunan. Hubungan ini kemudian dibandingkan dengan spektrum respons (demand spectrum), yang menunjukkan tingkat tuntutan kinerja akibat beban gempa rencana (Mardina, 2023).

### 2. FEMA – 440

Federal Emergency Management Agency 440 (FEMA 440) merupakan revisi dari FEMA 356 dengan beberapa perubahan. Salah satu perubahan utama adalah pada faktor  $C_1$  dan  $C_2$  dalam perhitungan perpindahan sasaran ( $\delta_i$ ) menggunakan metode koefisien perpindahan. Perhitungan  $\delta_i$  dilakukan dengan menyesuaikan respons elastis linier sistem struktural SDOF menggunakan faktor modifikasi  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$ , kemudian menentukan waktu getar efektif ( $T_e$ ) (Federal Emergency Management Agency (FEMA-440), 2005).

## III. METODE

### 3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan analisis dinamik linier (respon spektrum), statik linier (statik ekuivalen), dan statik nonlinier (pushover) dengan software ETABS 18.1. Pemodelan dilakukan pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri, mencakup

elemen struktur utama. Analisis mencakup kelelahan pertama, displacement, dan geser dasar, kemudian kinerja struktur dievaluasi berdasarkan batas layanan, batas ultimit, serta tingkat kinerja sesuai ATC-40 dan FEMA-440.



Gambar 1. Desain 3D gedung Presisi 3 Mabes Polri  
Sumber: PT. Adhi Karya (Persero) Tbk.

### 3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang berlokasi di Jl. Trunojoyo No.3, RT.5/RW.1, Selong, Kebayoran Baru, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12110.

### 3.3 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder, yaitu gambar struktur dan data teknis proyek. Adapun data yang didapat sebagai berikut:

1. Fungsi Gedung : Gedung Perkantoran
2. Jenis Struktur : Konstruksi Beton Bertulang
3. Jumlah Lantai : 10 Lantai + Atap
4. Tinggi Gedung : 42.8 meter
5. Sistem Struktur : Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus.
6. Mutu Beton :  $f_c' 29.04$  Mpa
7. Mutu Besi Tulangan: D8 s/d D32 BJTD 42 Ulir ( $f_y = 420$  MPa)
8. Sistem Pengecoran : ready mix

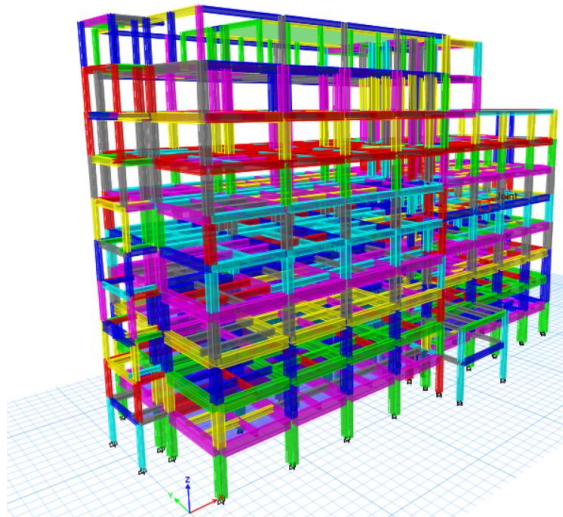
### 3.4 Tahap Analisis

Proses analisis diawali dengan studi literatur, diikuti dengan pemodelan 3D menggunakan program ETABS v18.1, pembebanan struktur, running pada program ETABS v18.1, kontrol desain pada struktur dan menilai level kinerja struktur.

#### 1. Studi Literatur

## 2. Pemodelan 3D

Pemodelan struktur diawali dengan pembuatan grid data, penentuan material, serta dimensi elemen sesuai denah Gedung Presisi 3 Mabes Polri. Elemen non-struktural tidak dimodelkan karena dianggap kurang berpengaruh. Hasil pemodelan tiga dimensi kemudian diperoleh melalui perangkat lunak ETABS 18.1.



Gambar 2. Pemodelan 3D struktur gedung Presisi 3 Mabes Polri

## 3. Pembebanan Struktur

Analisis struktur Gedung Presisi 3 Mabes Polri dilakukan sesuai peraturan melalui pendekatan pembebanan. Untuk beban seismik, digunakan acuan SNI 1727:2020 tentang beban minimum bangunan dan SNI 1726:2019 tentang perencanaan ketahanan gempa. Analisis ini didasarkan pada kategori pembebanan yang telah ditetapkan.

## 4. Running Pemodelan Struktur di ETABS

Proses ini bertujuan memastikan model bangunan di ETABS V.18.1 memenuhi standar keamanan. Indikator visual ditunjukkan melalui warna: elemen yang berwarna merah menandakan ketidakmampuan menahan beban dan perlu pengecekan ulang dimensi, sedangkan elemen dengan warna biru muda hingga kuning menunjukkan struktur telah memenuhi kriteria kekuatan beban.

## 5. Running Analisis Dinamik Respon Spektrum

Analisis dinamik respon spektrum dengan ETABS V18.1 dilakukan melalui beberapa tahap:

- a. analisis statis untuk menentukan prategang akibat beban gravitasi,
- b. analisis modal untuk mengidentifikasi mode getar dan frekuensi struktur,
- c. analisis spektrum respons titik tunggal untuk memperoleh gaya geser fundamental,
- d. penerapan metode modal ekspansi guna menyatukan kontribusi tiap mode,
- e. kombinasi modal melalui penggabungan respons dari berbagai mode getar, dan
- f. analisis gaya geser serta perbedaan pada komponen struktur melalui pasca-pemrosesan.

## 6. Running Analisis Statik Ekuivalen

Analisis gaya lateral ekuivalen, yang juga dikenal sebagai prosedur statik ekuivalen, merupakan metode analisis untuk menghitung beban gempa. Dalam metode ini, sejumlah gaya lateral diterapkan pada struktur untuk merepresentasikan dampak gerakan tanah akibat gempa. Analisis ini meliputi:

- a. Perhitungan berat seismik efektif ( $W_f$ ).
- b. Perhitungan koefisien respons seismik ( $C_s$ ).
- c. Perhitungan geser dasar seismik ( $V$ ).
- d. Distribusi vertikal gaya gempa.
- e. Distribusi horizontal gaya gempa.

## 7. Running Analisis Pushover

Setelah analisis beban gempa menghasilkan kurva respons spektrum dan struktur dinyatakan aman, dilakukan analisis pushover dengan ETABS V18.1.1 untuk memperoleh kurva kapasitas. Analisis ini melibatkan dua tahap pembebanan, yaitu beban gravitasi (beban mati dan hidup dengan faktor 1) dan beban lateral yang merepresentasikan gaya inersia gempa pada sumbu x dan y. Beban lateral diberikan bertahap hingga target displacement tercapai dengan metode "*push to load level defined by pattern*". Hasil analisis berupa kurva kapasitas dan skema sendi plastis.

## 8. Kontrol Desain

### a. Kontrol Gaya Geser

Proses ini dilakukan untuk mengevaluasi beban seismik yang akan dimasukkan ke dalam ETABS18 dalam bentuk grafik respons spektrum, dengan mempertimbangkan karakteristik spesifik wilayah Kota Jakarta serta keberadaan tanah lunak (SE). Sesuai dengan SNI 1726:2019, beban gempa ditentukan menggunakan faktor skala, yang dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$F = \frac{gI}{R}$$

Dimana:

I = Faktor Keutamaan Gempa

g = Besaran Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

R = Koefisien modifikasi respons Untuk kontrol gaya geser dasar digunakan persamaan:

$$V_{dinamik} \geq V_{statik}$$

Dimana:

V<sub>dinamik</sub> = gaya geser dasar dinamik

V<sub>statik</sub> = gaya geser dasar statik

Jika persamaan tidak terpenuhi, persamaan berikutnya digunakan:

$$x = \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}}$$

Dimana:

V<sub>statik</sub> = gaya geser hasil perhitungan manual

V<sub>dinamik</sub> = gaya geser hasil analisis respons spektrum

Nilai gaya geser statis dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana:

C<sub>s</sub> = koefisien respons seismik

W = berat seismik aktif (berat bangunan keseluruhan)

Nilai koefisien respons seismik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R I_e}$$

Dimana:

S<sub>DS</sub> = parameter percepatan respon spectral periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I<sub>e</sub> = faktor keutamaan gempa

b. Kontrol Simpangan Antar lantai

Nilai pergeseran antar lantai pada desain tidak boleh melebihi batas pergeseran antar lantai yang diizinkan. Ketentuan mengenai batasan ini diatur dalam SNI 1726:2019, pasal 7.12.1. Dengan menggunakan persamaan matematika tersebut

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta a$$

Dimana:

C<sub>d</sub> = faktor pembesaran defleksi

I<sub>e</sub> = faktor keutamaan gempa

δ<sub>xe</sub> = simpangan di tingkat -x

Δa = simpangan antar tingkat izin

## 9. Performance Point

Titik perpotongan antara kurva kapasitas dan kurva respon spektrum rencana disebut sebagai performance point. Dari titik ini, dapat diperoleh informasi mengenai gaya geser bangunan (V) serta target displacement atau perpindahan target (Dt) yang terjadi akibat perubahan kekakuan struktur setelah menerima beban gempa. Selain itu, posisi sendi plastis pada bangunan yang dianalisis juga dapat diketahui.

## 10. Level Kinerja Struktur

Dari *performance point*, diperoleh nilai *roof displacement*, gaya geser dasar, serta pola distribusi sendi plastis pada balok dan kolom. Nilai *roof displacement* ini digunakan untuk menentukan kriteria kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dan FEMA-440. Berdasarkan ATC-40, tingkat kinerja dapat diketahui dari nilai maksimum total drift dan maksimum inelastic drift. Nilai tersebut diperoleh dengan rumus:

$$\text{Maximum total drift} = \frac{Dt}{H}$$

$$\text{Maximum Inelastic Drift} = \frac{Dt - D_1}{H}$$

Dimana:

Dt = *displacement target* atau target perpindahan (m)

D<sub>1</sub> = *displacement* pertama (m)

H = tinggi total bangunan (m). Dari hasil perhitungan tersebut, dapat ditentukan level kinerja Gedung Presisi 3 Mabes Polri berdasarkan batasan rasio drift sesuai pada tabel 2.19 pada bab sebelumnya.

Berdasarkan FEMA 440, tingkat kinerja dapat diketahui dari nilai target perpindahan dari prosedur analisis nonlinier. Nilai tersebut diperoleh dengan rumus:

$$\delta_t = C_0 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times S_a \left(\frac{\pi}{2\pi}\right)^2 \times g$$

Dimana:

δ<sub>t</sub> = teger perpindahan

Te = waktu getar alami efektif

g = percepatan gravitasi 9,81 m/s<sup>2</sup>

C<sub>0</sub> = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap

C<sub>1</sub> = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastis maksimum dengan perpindahan respons elastis linier

C<sub>2</sub> = faktor modifikasi yang mewakili efek hysteresis shape, degradasi kekakuan, dan

penurunan kekuatan pada respon peralihan maksimum

$C_3$  = faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat P – Delta.

$S_a$  = akselerasi respons spektrum yang berhubungan dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Tinjauan Umum

Bab ini membahas mengenai analisis Gedung Presisi 3 Mabes Polri dengan bantuan perangkat lunak ETABS V18.1.0 untuk analisis struktur dan Microsoft Excel untuk pengolahan data perhitungan. Analisis pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri menggunakan metode respon spektrum, statik ekuivalen, dan pushover. Kontrol terhadap struktur diantaranya ketidakberaturan, simpangan antar tingkat dan level kinerja struktur.

##### 4.2 Pembebanan

Analisis Gedung Presisi 3 Mabes Polri mempertimbangkan beban mati, hidup, air hujan, dan gempa. Besar serta kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan PPPURG 1987.

##### 1. Perhitungan Pembebanan

Pemodelan struktur diawali dengan pembuatan grid data, penentuan material, dan dimensi elemen sesuai denah Gedung Presisi 3 Mabes Polri. Elemen non-struktural tidak dimodelkan karena dianggap kurang berpengaruh. Hasil pemodelan 3D kemudian diperoleh melalui ETABS 18.1.

##### a. Beban Mati

Beban mati yang mempengaruhi struktur gedung meliputi elemen-elemen seperti kolom, balok, pelat lantai, dan pelat atap.

##### b. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan merupakan beban tetap yang berasal dari elemen – elemen permanen yang melekat pada komponen struktur. Beban mati tambahan yang bekerja pada bangunan ini sesuai dengan SNI 1727 – 2020 adalah sebagai berikut

- Pelat Lantai
- Adukan (3 cm) = 0.63 kN/m<sup>2</sup>
- Plafond dan penggantung = 0.18 kN/m<sup>2</sup>
- Keramik (1 cm) = 0.24 kN/m<sup>2</sup>
- Instalasi *mechanical electrical* = 0.25 kN/m<sup>2</sup>
- Total = 1.3 kN/m<sup>2</sup>

- Pelat Atap

- Plafond dan penggantung = 0.18 kN/m<sup>2</sup>
- Instalasi *mechanical electrical* = 0.25 kN/m<sup>2</sup>
- Total = 0.43 kN/m<sup>2</sup>

##### c. Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri sesuai dengan SNI 1727 – 2020 adalah sebagai berikut

- Lantai kantor, staff area & toilet = 2.5 kN/m<sup>2</sup>
- Lantai koridor = 3.85 kN/m<sup>2</sup>
- Lantai atap = 1 kN/m<sup>2</sup>

##### d. Beban Air Hujan

Pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri ini di rencanakan air hujan pada atap memiliki tinggi maksimal 5 cm.

Beban air hujan = 1000 kg/m<sup>3</sup> × 0.05 m = 50 kg/m<sup>2</sup> = 0.5 kN/m<sup>2</sup>

##### e. Beban Gempa

Berdasarkan hasil laporan penyelidikan tanah atau geoteknik, lokasi Gedung Presisi 3 Mabes Polri diklasifikasikan sebagai kelas situs SE atau tanah lunak. Parameter respons spektrum yang digunakan mengacu pada SNI 1726:2019 untuk kelas situs SE (tanah lunak).

- Percepatan Gempa

$$S_s = 0.8193 \text{ g}$$

$$S_1 = 0.3963 \text{ g}$$

- Koefisien Situs (SNI 1726:2019 tabel 6 dan tabel 7)

$$F_a = 1.24$$

$$F_v = 2.41$$

- Percepatan gempa yang disesuaikan dengan klasifikasi situs (SNI 1726:2019 Pasal 6.2 dan Pasal 6.3)

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1.24 \times 0.8193 = 1.02 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2.41 \times 0.3963 = 0.96 \text{ g}$$

- Percepatan spektral desain (SNI 1726:2019 Pasal 6.2 dan Pasal 6.3)

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 \times 1.02 = 0.68 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 \times 0.96 = 0.64 \text{ g}$$

- Kategori desain seismik (KDS) (SNI 1726:2019 tabel 8 dan tabel 9)

$$S_{DS} = 0.68 (\geq 0.5) \rightarrow \text{kategori D}$$

$$S_{D1} = 0.64 (\geq 0.2) \rightarrow \text{kategori D}$$

- Kurva respon spektrum desain (SNI 1726:2019 Pasal 6.4)

Kurva respons spektrum desain dibuat dengan menentukan parameter  $S_a$  dan periode (T) seperti dibawah ini.

$$T_0 = 0.2 \times (S_{D1} / S_{DS}) = 0.2 \times (0.64 / 0.68) = 0.19 \text{ detik}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0.64 / 0.68 = 0.94 \text{ detik}$$

TL = 20 detik (peta transisi periode panjang wilayah Jakarta)

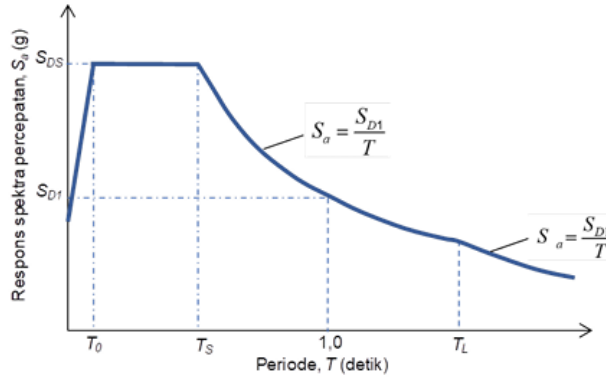
Dengan ketentuan,

$T < T_0 \quad S_a = S_{DS} \times (0.4 + 0.6 (T/T_0))$

$T_0 \leq T \leq T_s \quad S_a = S_{DS}$

$T > T_s \quad S_a = S_{D1}/T$

Kurva spektrum respons desain perlu disusun dengan mengacu pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Kurva respons spektrum  
Sumber: SNI 1726 – 2019, hal. 36

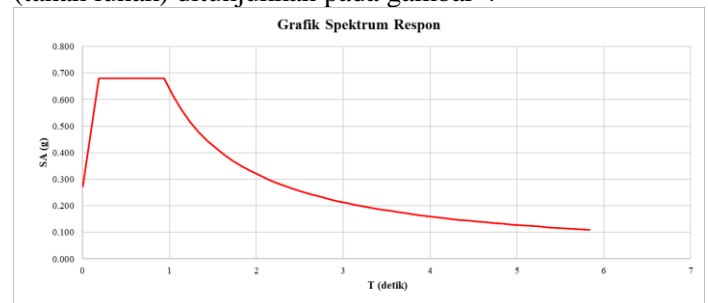
Maka nilai periode dan Sa disajikan dalam tabel 1 sebagai berikut

Tabel 1. Nilai T (detik) dan Sa (g)

T (Detik)	Sa (g)
0	0
T0	0.19
Ts	0.94
Ts + 0.1	1.04
Ts + 0.2	1.14
Ts + 0.3	1.24
Ts + 0.4	1.34
Ts + 0.5	1.44
Ts + 0.6	1.54
Ts + 0.7	1.64
Ts + 0.8	1.74
Ts + 0.9	1.84
Ts + 1	1.94
Ts + 1.1	2.04
Ts + 1.2	2.14
Ts + 1.3	2.24
Ts + 1.4	2.34
Ts + 1.5	2.44
Ts + 1.6	2.54
Ts + 1.7	2.64
Ts + 1.8	2.74
Ts + 1.9	2.84
Ts + 2	2.94
Ts + 2.1	3.04
Ts + 2.2	3.14

T (Detik)	Sa (g)
Ts + 2.3	3.24
Ts + 2.4	3.34
Ts + 2.5	3.44
Ts + 2.6	3.54
Ts + 2.7	3.64
Ts + 2.8	3.74
Ts + 2.9	3.84
Ts + 3	3.94
Ts + 3.1	4.04
Ts + 3.2	4.14
Ts + 3.3	4.24
Ts + 3.4	4.34
Ts + 3.5	4.44
Ts + 3.6	4.54
Ts + 3.7	4.64
Ts + 3.8	4.74
Ts + 3.9	4.84
Ts + 4	4.94
Ts + 4.1	5.04
Ts + 4.2	5.14
Ts + 4.3	5.24
Ts + 4.4	5.34
Ts + 4.5	5.44
Ts + 4.6	5.54
Ts + 4.7	5.64
Ts + 4.8	5.74
Ts + 4.9	5.84
Ts + 5	5.94

Kurva spektrum respons desain berdasarkan periode (T) dan Sa diatas dengan kelas situs SE (tanah lunak) ditunjukkan pada gambar 4



Gambar 4. Kurva respons spektrum

2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.4, dengan nilai percepatan desain untuk periode pendek (SDS) sebesar 0,68 g dan faktor redundansi (ρ)

sebesar 1,3. Oleh karena itu, kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut:

- (1.1) 1.4 DL
- (2) 1.2 DL + 1.6 LL + 0.5 (Lr atau R)
- (2.1) 1.2 DL + 1.6 LL + 0.5 Lr
- (3) 1.2D + 1.6 (Lr atau R) + (L atau 0.5W)
- (3.1) 1.2 DL + 1 LL + 1.6 Lr
- (6) 1.2 D + Ev + Eh + L
- (6.1) 1.34 DL+ 1 LL+1.3 Ex + 0.39 Ey
- (6.2) 1.34 DL + 1 LL + 1.3 Ex - 0.39 Ey
- (6.3) 1.34 DL + 1 LL - 1.3 Ex + 0.39 Ey
- (6.4) 1.34 DL + 1 LL - 1.3 Ex - 0.39 Ey
- (6.5) 1.34 DL+ 1 LL+ 0.39 Ex + 1.3 Ey
- (6.6) 1.34 DL + 1 LL - 0.39 Ex + 1.3 Ey
- (6.7) 1.34 DL + 1 LL + 0.39 Ex - 1.3 Ey
- (6.8) 1.34 DL + 1 LL - 0.39 Ex - 1.3 Ey
- (7) 0.9 D - Ev + Eh
- (7.1) 0.64 DL + 1.3 Ex + 0.39 Ey
- (7.2) 0.64 DL + 1.3 Ex - 0.39 Ey
- (7.3) 0.64 DL - 1.3 Ex + 0.39 Ey
- (7.4) 0.64 DL - 1.3 Ex - 0.39 Ey
- (7.5) 0.64 DL + 0.39 Ex + 1.3 Ey
- (7.6) 0.64 DL - 0.39 Ex + 1.3 Ey
- (7.7) 0.64 DL + 0.39 Ex -1.3 Ey

- (7.8) 0.64 DL - 0.39 Ex -1.3 Ey
- (Service) 1 DL + 1 LL + 1 SIDL + 1 Lr

Keterangan:

- DL = beban mati
- LL = beban hidup
- Lr = beban hidup atap
- SIDL= beban mati tambahan
- Ex = pengaruh gaya gempa arah x
- Ey = pengaruh gaya gempa arah y

4.3 Berat Seismik Efektif

SNI 1726:2019 menyatakan bahwa berat seismik efektif struktur (W) harus mencakup seluruh beban mati (DL) serta beban operasional total dari peralatan permanen atau beban mati tambahan (SIDL). Contoh beban seismik efektif pada satu lantai di atas lantai dasar adalah sebagai berikut:  
 W (lantai 2) = berat total kolom lantai 2 + berat total balok lantai 2 + berat total pelat lantai 2 + SIDL lantai 2 = 38450 + 657539.5 + 322451.83 + 148420.776 = 1512952.106 kg  
 Berat seismik efektif dari lantai 2 smpa lantai atap pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri disajikan dalam bentuk tabel 2

Tabel 2. Berat Seismik Efektif Gedung Presisi 3 Mabes Polri

Lantai	Berat Seismik Efektif (kg)				
	Kolom	Balok	Pelat	Beban SIDL (kg)	Total (kg)
Atap	118692	101340.36	45666.4	18674.17	284372.926
10	155282.4	328955.19	229427.89	105602.95	819268.424
9	198021.6	360366.39	229427.89	105602.94	893418.821
8	223725.6	482796.23	322451.89	148420.79	1177394.509
7	251042.4	463212.83	322451.86	148420.78	1185127.875
6	251042.4	469623.11	322451.83	148420.13	1191537.468
5	291816	652110.71	322451.83	148420.77	1414799.313
4	298317.6	658227.11	322451.16	148420.46	1427416.325
3	321955.2	661902.71	336707.83	150591.24	1471156.978
2	384540	657539.5	322451.83	148420.776	1512952.106
		<b>Total</b>			<b>11377444.746</b>

4.4 Analisis Respon Spektrum

1. Gaya Geser Dasar Seismik

Perhitungan gaya geser dasar akibat gempa dilakukan untuk membandingkan antara gaya geser dasar statik dan dinamik, yang selanjutnya digunakan dalam proses penskalaan gaya.

- Koefisien respons seismik,  $C_s = SDS / (R/I_e)$   
 $0.68 / (8/1) = 0.0850$
- Batas atas,  $C_{s,max} = SD1 / [T \times (R/I_e)]$   
 $C_{s,max X} = 0.6380 / [1.143(8/1)] = 0.06976$   
 $C_{s,max Y} = 0.6380 / [1.143(8/1)] = 0.06976$

- Batas Bawah,  $C_{s,min} = 0.044 \times SDS \times I_e > 0.01$   
 $= 0.044 \times 0.6798 \times 1 = 0.0299 > 0.01$
- Koefisien respons seismik pakai, karena  $C_s > C_{s,max}$ , maka  $C_s = C_{s,max}$   
 $C_{s,pakai X} = 0.06976$   
 $C_{s,pakai Y} = 0.06976$
- Berat seismik efektif,  $W = 11377444.75 \text{ kg}$   
 $= 111574.64 \text{ kN}$
- Gaya geser statik,  $V = C_s \times W$   
 $V_X = 0.06976 \times 111574.64 = 7783.21 \text{ kN}$   
 $V_Y = 0.06976 \times 111574.64 = 7783.21 \text{ kN}$
- Gaya geser statik (ETABS)

$V_x = 6087.8593 \text{ kN}$

$V_y = 5119.2298 \text{ kN}$

2. Penskalaan Gaya Geser Dasar

Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100 % dari gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V/V_t$ , dimana  $V$  adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 0, dan  $V_t$  adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1.

- Faktor skala awal,  $SF = g / (R / I_e) = 9.81 / (8/1) = 1.2263 \text{ m/s}^2 = 1225.8 \text{ mm/s}^2$
- Gaya geser statik,  $V_x = 6087.8593 \text{ kN}$   
 $V_y = 5119.2298 \text{ kN}$
- Gaya geser kombinasi ragam,  $V_{ix} = 4810.1016 \text{ kN}$   
 $V_{iy} = 3991.4099 \text{ kN}$
- Penskalaan gempa,  $f = V/V_i$   
 $f_x = 6087.8593 / 4810.1016 = 1.266$   
 $f_y = 5119.2298 / 3991.4099 = 1.283$
- Faktor skala baru,  $Sf_x = SF \text{ awal} \times f_x = 1225.8 \times 1.266 = 1551.86 \text{ mm/s}^2$

$Sf_y = SF \text{ awal} \times f_y = 1225.8 \times 1.283 = 1572.7 \text{ mm/s}^2$

Hasil sebelum dan sesudah penskalaan disajikan dalam tabel 3

Tabel 3. Base Reaction sebelum dan sesudah penskalaan

Output Case	Vx	Vy
Statik Ex	-6087.8593	0.00
Statik Ex	-6087.8593	0.00
Statik Ex	-6087.8593	0.00
Statik Ey	0.00	-5119.2298
Statik Ey	0.00	-5119.2298
Statik Ey	0.00	-5119.2298
Spex Ex	4810.1016	48.7345
Spex Ey	48.7346	3991.4099
Spex Ex Scale	6089.5777	61.6977
Spex Ey Scale	62.5264	5120.9744

3. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan pada pusat massa tingkat di atas dan di bawah yang sedang ditinjau. Berdasarkan SNI

1726:2019 Pasal 7.12.1 nilai simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) pada suatu bangunan gedung tidak boleh melebihi nilai simpangan antar lantai yang diizinkan ( $\Delta_a$ ). Nilai perpindahan/*displacement* didapat dari hasil analisis dengan bantuan ETABS. Parameter yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut:

- Simpangan antar tingkat izin,  $\Delta_a = 0.02h$
- Faktor redudansi,  $\rho = 1.3$
- Story Drift Inelastik Izin,  $\Delta_{max} = \Delta_a / \rho = 0.02h / 1.3 = 0.0154h$
- Faktor pembesaran defleksi,  $C_d = 5.5$
- Faktor keutamaan gempa,  $I_e = 1$
- Story Drift Inelastik,  $\Delta = \delta \times C_d / I_e$

Keterangan:

$h$  = tinggi antar tingkat

$\rho = 1.3$  (berdasarkan kategori desain seismik D)

Besarnya simpangan antar lantai pada suatu bangunan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan tersebut

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_a$$

Berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan pada lantai 3 pada arah X

$\Delta_{max} = 0.0154 \times 4200 \text{ mm} = 64.615 \text{ mm}$

$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5.5 \times (11.406 - 5.391)}{1} = 33.083 \text{ mm}$

Kontrol simpangan antar tingkat pada lantai 3 arah X

$33.083 \text{ mm} \leq 64.615 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$

$$\delta_y = \frac{C_d \delta_{ye}}{I_e} \leq \Delta_a$$

Berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan pada lantai 3 pada arah Y

$\Delta_{max} = 0.0154 \times 4200 \text{ mm} = 64.615 \text{ mm}$

$\delta_y = \frac{C_d \delta_{ye}}{I_e} = \frac{5.5 \times (11.502 - 4.529)}{1} = 38.352 \text{ mm}$

Kontrol simpangan antar tingkat pada lantai 3 arah Y

$38.352 \text{ mm} \leq 64.615 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$

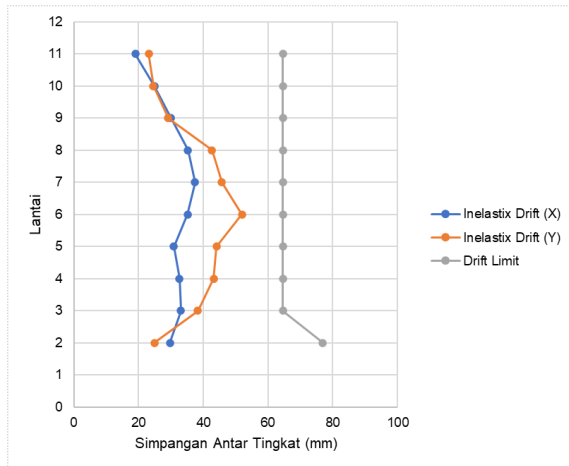
Hasil nilai perpindahan dan simpangan antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang disebabkan oleh gempa respon spektrum pada arah X dan Y ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Simpangan antar tingkat metode respon spektrum

Lantai	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	$\delta e_x$	$\delta e_y$	$\delta e_x$	$\delta e_y$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
11	55.982	66.852	3.450	4.212	4200	18.975	23.166	64.615	OK
10	52.532	62.640	4.515	4.473	4200	24.833	24.602	64.615	OK
9	48.017	58.167	5.452	5.307	4200	29.986	29.189	64.615	OK
8	42.565	52.860	6.418	7.756	4200	35.299	42.658	64.615	OK
7	36.147	45.104	6.811	8.303	4200	37.461	45.667	64.615	OK
6	29.336	36.801	6.387	9.435	4200	35.129	51.893	64.615	OK
5	22.949	27.366	5.610	8.014	4200	30.855	44.077	64.615	OK
4	17.339	19.352	5.933	7.850	4200	32.632	43.175	64.615	OK
3	11.406	11.502	6.015	6.973	4200	33.083	38.352	64.615	OK
2	5.391	4.529	5.391	4.529	5000	29.651	24.910	76.923	OK

Pada Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa simpangan antar tingkat dari lantai 2 sampai lantai atap memenuhi simpangan antar tingkat iziannya.

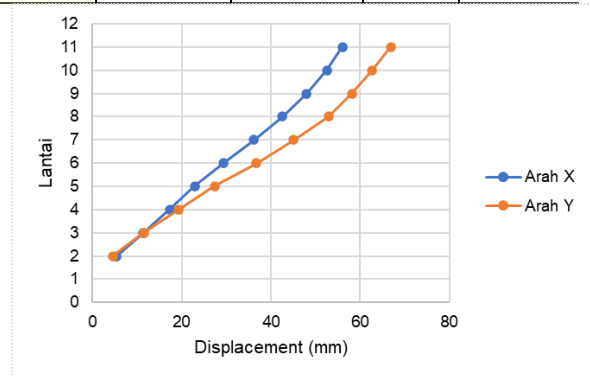
Grafik simpangan antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang disebabkan oleh gempa respon spektrum pada arah X dan Y ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik simpangan antar tingkat metode respon spektrum

Pada gambar 5 simpangan arah X yang terjadi pada lantai 7 semakin besar karena adanya perubahan dimensi balok yang digunakan, sedangkan pada arah Y terjadi pada lantai 6 yang mengalami kenaikan juga diakibatkan karena perubahan dimensi balok. Berdasarkan gambar 5, simpangan antar tingkat arah X dan arah Y memenuhi simpangan antar tingkat iziannya.

Grafik displacement antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang disebabkan oleh gempa respon spektrum pada arah X dan Y ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik displacement antar tingkat metode respon spektrum

Pada Gambar 6 menunjukkan kurva displacement dengan metode respon spektrum, pada arah X menunjukkan nilai displacement tertinggi sebesar 55.982 mm terjadi di lantai atap dan nilai displacement terendah sebesar 5.391 mm terjadi di lantai 2. Pada arah Y menunjukkan nilai displacement tertinggi sebesar 66.852 mm terjadi di lantai atap dan nilai displacement terendah sebesar 4.529 mm terjadi di lantai 2. Dapat dilihat pada gambar 6 displacement arah Y lebih besar dari arah X, karena pada arah Y lebih dahulu menghasilkan Partisipasi Massa Ragam Terkombinasi/Modal Participating Mass Ratios (MPMR) daripada arah X.

#### 4.5 Analisis Statik Ekuivalen

Dalam analisis ini akan dibahas mengenai periode struktur, perhitungan gaya geser dasar akibat gempa, serta evaluasi simpangan antar lantai. Berdasarkan sub bab 4.4.4 dan 4.4.5 dapat disimpulkan tidak terjadi ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Sesuai dengan SNI 1726:2019 tabel 16, Gedung Presisi 3 Mabes Polri bisa dilakukan analisis statik ekuivalen.

##### 1. Gaya Geser Dasar Seismik

Dalam perhitungan gaya geser dasar, dibutuhkan sejumlah parameter seperti periode struktur, percepatan desain, faktor keutamaan gempa, koefisien modifikasi respons, serta berat seismik efektif. Seluruh parameter tersebut telah dihitung pada subbab sebelumnya dengan rincian sebagai berikut. Nilai periode struktur diperoleh dari hasil analisis yang telah dilakukan pada bab respons spektrum sebelumnya

- $S_{DS} = 0.68 \text{ g}$
- $S_{D1} = 0.64 \text{ g}$
- $I_e = 1$
- $R = 8$
- $\Omega_0 = 3$
- $C_d = 5.5$
- Berat seismik efektif,  $W = 11377444.746 \text{ kg}$
- Koefisien respons seismik,  $C_s = SDS / (R/I_e)$   
 $0.68 / (8/1) = 0.0850$
- Batas atas,  $C_{s \text{ max}} = SD1 / [T \times (R/I_e)]$   
 $C_{s \text{ max X}} = 0.6380 / [1.143(8/1)] = 0.06976$   
 $C_{s \text{ max Y}} = 0.6380 / [1.143(8/1)] = 0.06976$
- Batas Bawah,  $C_{s \text{ min}} = 0.044 \times SDS \times I_e > 0.01$   
 $= 0.044 \times 0.6798 \times 1 = 0.0299 > 0.01$
- Koefisien respons seismik pakai, karena  $C_s > C_{s \text{ max}}$ , maka  $C_s = C_{s \text{ max}}$   
 $C_{s \text{ pakai X}} = 0.06976$   
 $C_{s \text{ pakai Y}} = 0.06976$
- Gaya geser statik,  $V = C_s \times W$   
 $V_X = 0.06976 \times 111574.64 = 7783.21 \text{ kN}$   
 $V_Y = 0.06976 \times 111574.64 = 7783.21 \text{ kN}$

2. Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen  
Gaya seismik lateral,  $F_x$  pada setiap tingkat atau lantai harus dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V = C_s \times W$$

$$F_i = \frac{W_x h_x^k}{\sum_i^n W_x h_x^k} \times V$$

Keterangan:

- $C_s$  = koefisien respons seismik
- $V$  = gaya lateral desain total atau beban geser dasar struktur (kN)

$W_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur yang ada pada tingkat  $x$

$H$  = tinggi bangunan dari dasar bangunan sampai tingkat  $x$

$K$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur

Nilai  $K$  dapat dicari dengan syarat berikut:

- Struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $K = 1$
- Struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $K = 2$
- Struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,
- $K =$  hasil interpolasi dari persamaan berikut :

$$T_0 = 0,5 \text{ maka } K = 1$$

$$T_0 = 2,5 \text{ maka } K = 2$$

$$\frac{1 - 2}{K - 2} = \frac{0,5 - 2,5}{T - 2,5}$$

Berikut ada contoh perhitungan untuk memperoleh nilai  $K$

$$\frac{1 - 2}{K - 2} = \frac{0,5 - 2,5}{1.143 - 2,5}$$

$$K = 1.321611146$$

Berikut adalah contoh perhitungan nilai  $F$  pada lantai 2

$$F_i = \frac{1512952.106 \times 5^{1.322}}{232001937} \times 793666.4901$$

$$= 43424.83352 \text{ kg}$$

$$F_X = 100\% \times F_i$$

$$F_X = 43424.83352 \text{ kg} = 43.42483352 \text{ t}$$

$$F_Y = 30\% \times F_i$$

$$F_Y = 30\% \times 43424.83352 \text{ kg}$$

$$F_Y = 13027.45006 \text{ kg} = 13.02745006 \text{ t}$$

Hasil perhitungan akibat beban gempa statik ekuivalen dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 5. Distribusi beban gempa statik ekuivalen pada portal

Lantai	Wx (kg)	Zx (m)	Zx <sup>k</sup> (m)	Wx*Zx	Wx*Zx <sup>k</sup> /Σ(Wx*Zx)	Fi (kg)	Fx (kg)	Fy (kg)
Atap	284372.9264	42.8	143.2631	12171161.25	0.175602585	139369.8877	139369.8877	41810.9663
10	819268.4239	38.6	124.9832	31623761.16	0.441352989	350287.0777	350287.0777	105086.1233
9	893418.821	34.4	107.3329	30733607.44	0.413329355	328045.6588	328045.6588	98413.69765
8	1177394.509	30.2	90.36363	35557314.17	0.458589459	363967.086	363967.086	109190.1258
7	1185127.875	26	74.13863	30813324.75	0.378719922	300577.3109	300577.3109	90173.19326
6	1191537.468	21.8	58.73798	25975516.8	0.301672077	239427.0184	239427.0184	71828.10552
5	1414799.313	17.6	44.26734	24900467.9	0.269952065	214251.9079	214251.9079	64275.57236
4	1427416.325	13.4	30.8741	19127378.75	0.18995613	150761.815	150761.815	45228.54449
3	1471156.978	9.2	18.78247	13534644.2	0.119102298	94527.50273	94527.50273	28358.25082
2	1512952.106	5	8.390089	7564760.532	0.054714208	43424.83352	43424.83352	13027.45006
Total	11377444.75			232001937		2224640.09851	2224640.09851	667392.02955

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Nilai Fx dan Fy yang terdapat pada tabel 4 akan dimasukkan ke ETABS18 untuk dianalisis statik ekuivalen.

3. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan pada pusat massa tingkat di atas dan di bawah yang sedang ditinjau. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 nilai simpangan antar lantai (Δ) pada suatu bangunan gedung tidak boleh melebihi nilai simpangan antar lantai yang diizinkan (Δa). Nilai perpindahan/displacement didapat dari hasil analisis dengan bantuan ETABS. Parameter yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut:

- Simpangan antar tingkat izin, Δa = 0.02h
- Faktor redudansi, ρ = 1.3
- Story Drift Inelastik Izin, Δmax = Δa/ρ = 0.02h / 1.3 = 0.0154h
- Faktor pembesaran defleksi, Cd = 5.5
- Faktor keutamaan gempa, Ie = 1
- Story Drift Inelastik, Δ = δ × Cd/Ie

Keterangan:

h = tinggi antar tingkat

ρ = 1.3 (berdasarkan kategori desain seismik D)

Besarnya simpangan antar lantai pada suatu bangunan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan tersebut

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta a$$

Berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan pada lantai 3 pada arah X

$$\Delta_{max} = 0.0154 \times 4200 \text{ mm} = 64.615 \text{ mm}$$

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5.5 \times (11.636 - 5.435)}{1} = 34.106 \text{ mm}$$

Kontrol simpangan antar tingkat pada lantai 3 arah X

$$34.106 \text{ mm} \leq 64.615 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

$$\delta_y = \frac{C_d \delta_{ye}}{I_e} \leq \Delta a$$

Berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan pada lantai 3 pada arah Y

$$\Delta_{max} = 0.0154 \times 4200 \text{ mm} = 64.615 \text{ mm}$$

$$\delta_y = \frac{C_d \delta_{ye}}{I_e} = \frac{5.5 \times (11.639 - 4.577)}{1} = 38.841 \text{ mm}$$

Kontrol simpangan antar tingkat pada lantai 3 arah Y

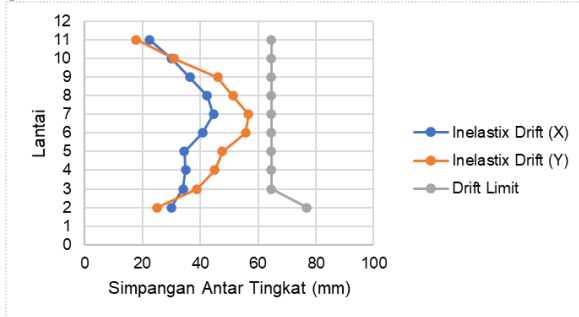
$$38.841 \text{ mm} \leq 64.615 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Hasil nilai perpindahan dan simpangan antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang disebabkan oleh gempa statik ekuivalen pada arah X dan Y ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Simpangan antar tingkat metode statik ekuivalen

Lantai	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe <sub>x</sub>	δe <sub>y</sub>	δe <sub>x</sub>	δe <sub>y</sub>		A <sub>x</sub>	A <sub>y</sub>		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
11	63.59	75.51	4.061	3.252	4200	22.336	17.886	64.615	OK
10	59.529	72.258	5.466	5.643	4200	30.063	31.037	64.615	OK
9	54.063	66.615	6.608	8.381	4200	36.344	46.096	64.615	OK
8	47.455	58.234	7.704	9.325	4200	42.372	51.288	64.615	OK
7	39.751	48.909	8.108	10.313	4200	44.594	56.722	64.615	OK
6	31.643	38.596	7.407	10.119	4200	40.739	55.655	64.615	OK
5	24.236	28.477	6.259	8.653	4200	34.425	47.592	64.615	OK
4	17.977	19.824	6.341	8.185	4200	34.876	45.018	64.615	OK
3	11.636	11.639	6.201	7.062	4200	34.106	38.841	64.615	OK
2	5.435	4.577	5.435	4.577	5000	29.893	25.174	76.923	OK

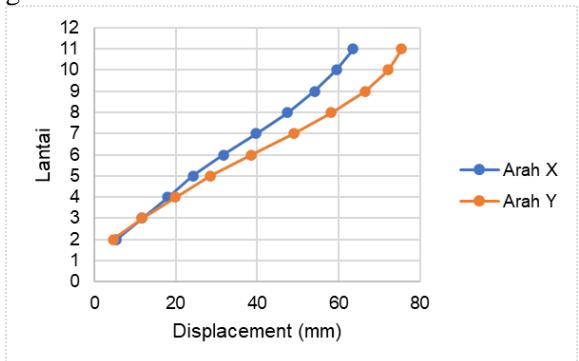
Pada tabel 6 dapat disimpulkan bahwa simpangan antar tingkat dari lantai 2 sampai lantai atap memenuhi simpangan antar tingkat iziannya. Grafik simpangan antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabas Polri yang disebabkan oleh statik ekuivalen pada arah X dan Y ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik simpangan antar tingkat metode statik ekuivalen

Pada Gambar 7 simpangan arah X dan arah Y yang terjadi pada lantai 7 semakin besar karena adanya perubahan dimensi balok yang digunakan. Berdasarkan gambar 7, simpangan antar tingkat arah X dan arah Y memenuhi simpangan antar tingkat izinnnya.

Grafik displacement antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabas Polri yang disebabkan oleh gempa statik ekuivalen pada arah X dan Y ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik displacement antar tingkat metode statik ekuivalen

Pada Gambar 8 menunjukkan kurva displacement dengan metode statik ekuivalen, pada arah X menunjukkan nilai displacement tertinggi sebesar 63.59 mm terjadi di lantai atap dan nilai displacement terendah sebesar 5.435 mm terjadi di lantai 2. Pada arah Y menunjukkan nilai displacement tertinggi sebesar 75.51 mm terjadi di lantai atap dan nilai displacement terendah sebesar 4.577 mm terjadi di lantai 2. Dapat dilihat pada gambar 8 displacement arah Y lebih besar

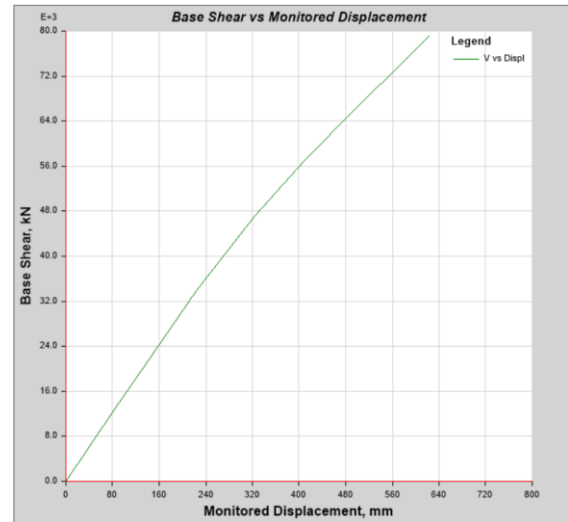
dari arah X, karena pada arah Y lebih dahulu menghasilkan Partisipasi Massa Ragam Terkombinasi/Modal Participating Mass Ratios (MPMR) daripada arah X.

#### 4.6 Analisis Pushover

##### 1. Kurva Kapasitas

Melalui proses iterasi dengan menggunakan program ETABS18, diperoleh kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan (D). Berikut adalah grafik kurva kapasitas hasil output ETABS18.

##### Arah X



Gambar 9. Kurva kapasitas pushover arah X

Nilai perpindahan dan gaya geser arah X dapat dilihat pada Gambar 9 grafik mengalami kenaikan terus menerus karena nilai perpindahan makin besar dan gaya geser semakin bertambah. Nilai perpindahan dan gaya geser output dari ETABS18 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perpindahan dan gaya geser step 0-10 arah X

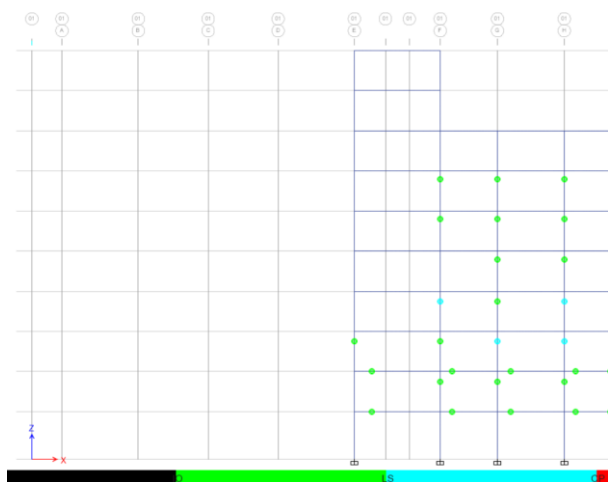
Step	D (mm)	V (kN)
0	0	0
1	85.6	13041.0601
2	135.414	20630.4442
3	224.045	33888.6037
4	237.306	35788.4484
5	237.314	35753.5726
6	323.931	47233.7755
7	409.86	57047.3766
8	496.43	66253.6446
9	582.698	75058.6535
10	622.522	79084.4026

Dapat dilihat pada tabel 7 jika step yang terjadi semakin tinggi nilai perpindahan dan gaya geser di dapat semakin besar. Dengan nilai perpindahan terbesar yaitu 622.522 mm dan gaya geser terbesar 79084.403 kN.

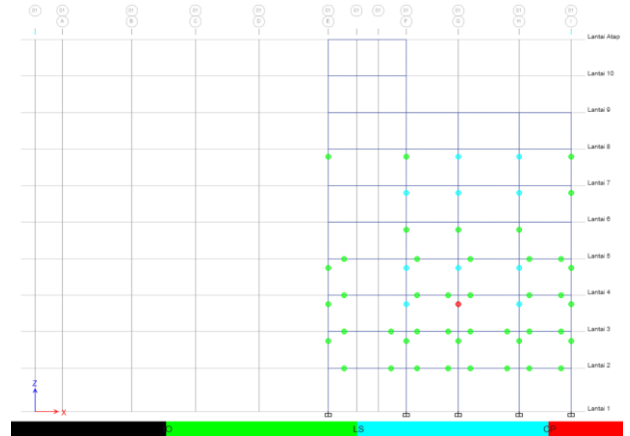
Pada arah X, analisis V statik ekuivalen didapatkan gaya geser sebesar 7783.21 kN dan pada analisis pushover nilai V didapatkan 79084.403 kN. Jadi, bisa disimpulkan bahwa gaya geser V pushover lebih besar dibandingkan V statik ekuivalen karena analisis pushover mempertimbangkan perilaku struktur yang sudah tidak elastis dan menerima beban struktur hingga mengalami kegagalan sedangkan analisis statik ekuivalen masih bersifat linier dan mempertimbangkan perilaku struktur yang elastis.

Pada gambar 10 dan gambar 11 dilakukan pengecekan  $\Phi M_n \geq M_u$  pada kolom lantai 3 step 8 dan step 10, berdasarkan hasil output ETABS didapatkan  $M_u$  sebesar 4988.6403 kNm dan  $\Phi M_n$  sebesar 3445.76 kNm, dari hasil output tersebut  $M_u \geq \Phi M_n$  maka kapasitas yang terjadi pada kolom lantai 3 step 8 dan step 10 melebihi kapasitas yang seharusnya dan perlu dilakukan perbesaran dimensi.

Pada gambar 10 menunjukkan sendi plastis yang terjadi pada balok antara lantai 2 dan 3 dengan level kinerja IO, lalu terjadi juga pada kolom lantai 3 sampai lantai 6 dengan level kinerja IO. Pada step 8 gaya geser (V) yang di dapatkan sebesar 66253.645 kN dan perpindahan (D) sebesar 496.43 mm.



Gambar 10. Sendi plastis yang terjadi pada step 8

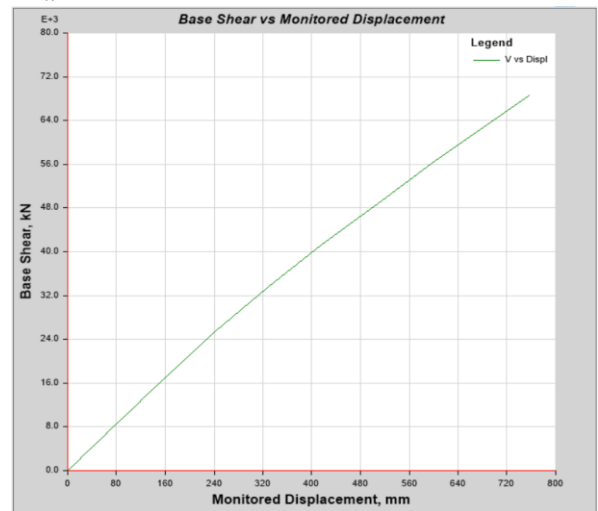


Gambar 11. Sendi plastis yang terjadi pada step 10

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada Gambar 11 menunjukkan sendi plastis yang terjadi pada balok antara lantai 2 dan 3 dengan level kinerja IO, lalu terjadi juga pada kolom lantai 2 dengan level kinerja IO, sedangkan pada kolom lantai 3 menjadi level kinerja CP yang dimana struktur kolom tidak dapat menahan beban dorong yang diberikan dan terjadi *collapse*. Pada step 10 gaya geser (V) yang di dapatkan sebesar 79084.403 kN dan perpindahan (D) sebesar 622.522 mm.

Arah Y



Gambar 12. Kurva kapasitas pushover arah Y

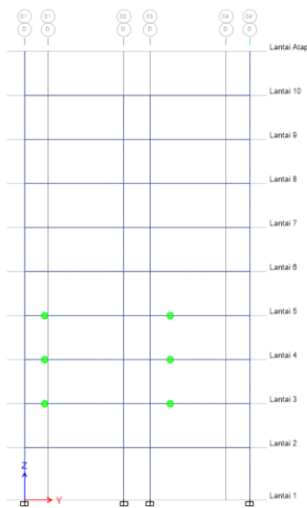
Nilai perpindahan dan gaya geser arah Y dapat dilihat pada Gambar 12 grafik mengalami kenaikan terus menerus karena nilai perpindahan makin besar dan gaya geser semakin bertambah. Nilai perpindahan dan gaya geser output dari ETABS18 dapat dilihat pada tabel 8. Pada arah Y, analisis V statik ekuivalen didapatkan gaya geser sebesar 7783.21 kN dan pada analisis pushover nilai V didapatkan 68584.925 kN. Jadi, bisa disimpulkan bahwa gaya geser V pushover lebih

besar dibandingkan V statik ekuivalen karena analisis pushover mempertimbangkan perilaku struktur yang sudah tidak elastis dan menerima beban struktur hingga mengalami kegagalan sedangkan analisis statik ekuivalen masih bersifat linier dan mempertimbangkan perilaku struktur yang elastis.

Tabel 8. Perpindahan dan gaya geser step 0-9 arah Y

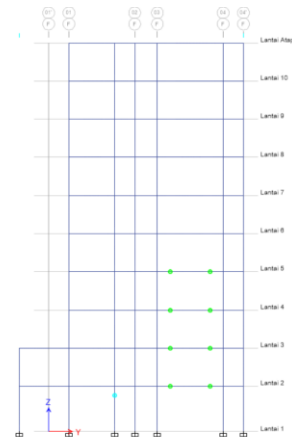
Step	D (mm)	V (kN)
0	0	0
1	85.6	9119.133
2	151.824	16174.3791
3	241.374	25409.2485
4	327.932	33554.048
5	416.834	41257.2309
6	507.657	48861.8576
7	596.553	56093.4893
8	710.277	65058.1346
9	755.604	68584.9251

Dapat dilihat pada Tabel 8 jika step yang terjadi semakin tinggi nilai perpindahan dan gaya geser di dapat semakin besar. Dengan nilai perpindahan terbesar yaitu 755.604 mm dan gaya geser terbesar 68584.925 kN.



Gambar 13. Sendi plastis yang terjadi pada step 6 elevasi D

Pada Gambar 13 menunjukkan sendi plastis yang terjadi pada balok antara lantai 3 sampai lantai 5 dengan level kinerja IO. Dengan begitu struktur masih dikatakan kuat karena belum terjadi kegagalan pada kolom. Pada step 6 gaya geser (V) yang di dapatkan sebesar 48861.858 kN dan perpindahan (D) sebesar 507.657 mm.



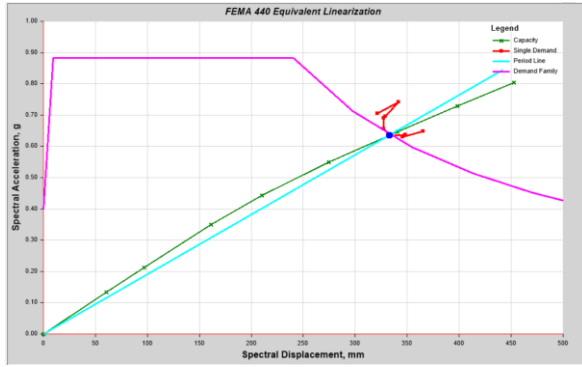
Gambar 14. Sendi plastis yang terjadi pada step 9 elevasi F

Pada Gambar 14 menunjukkan sendi plastis yang terjadi pada balok antara lantai 3 sampai lantai 5 dengan level kinerja IO. Sedangkan pada lantai 2 terjadi titik leleh pada kolom dengan level kinerja LS. Dengan begitu struktur sudah terjadi kegagalan pada kolom. Pada step 9 gaya geser (V) yang di dapatkan sebesar 68584.925 kN dan perpindahan (D) sebesar 755.604 mm.

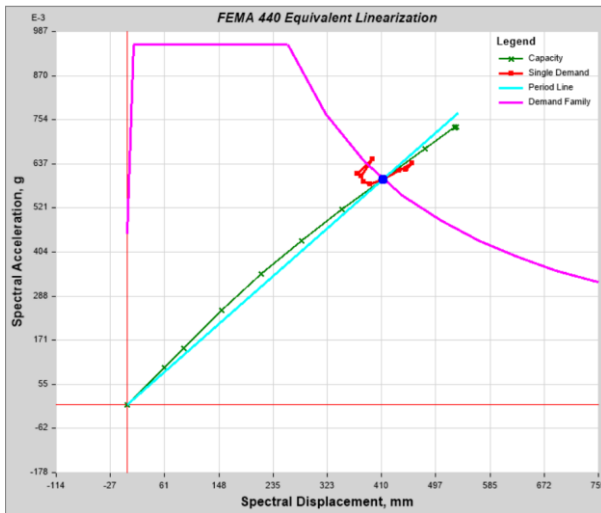
Pada gambar 14 dilakukan pengecekan  $\Phi M_n \geq M_u$  pada kolom lantai 3 step 9, berdasarkan hasil output ETABS didapatkan  $M_u$  sebesar 6949.9685 kNm dan  $\Phi M_n$  sebesar 1201.21 kNm, dari hasil output tersebut  $M_u \geq \Phi M_n$  maka kapasitas yang terjadi pada kolom lantai 2 step 9 melebihi kapasitas yang seharusnya dan perlu dilakukan perbesaran dimensi.

## 2. Performance Point

Performance Point pada suatu bangunan merujuk pada titik perpotongan tertentu antara kurva spektrum kapasitas dan spektrum permintaan yang ditampilkan dalam format ADRS. Titik ini merepresentasikan kemampuan struktur dalam mempertahankan kestabilannya terhadap beban yang ditentukan. Selain itu, titik perpotongan ini juga digunakan untuk menentukan nilai perpindahan target dalam rangka mengevaluasi tingkat kinerja struktur.



Gambar 15. Peformance point pushover arah X



Gambar 16. Peformance point pushover arah Y

Gambar 15 memperlihatkan titik kinerja hasil analisis pushover pada arah X, dengan nilai percepatan spektral ( $S_a$ ) sebesar 0.63604 g, simpangan spektral ( $S_d$ ) sebesar 333.555 mm serta gaya geser ( $V$ ) sebesar 56270.2575 kN dan displacement ( $D$ ) sebesar 461.685 mm. Sementara itu, gambar 16 menunjukkan titik kinerja pada arah Y, dengan nilai  $S_a$  sebesar 0.596919 g,  $S_d$  sebesar 412.383 mm serta gaya geser ( $V$ ) sebesar 49926.4545 kN dan displacement ( $D$ ) sebesar 565.955 mm. Tabel 4.21 menyajikan nilai-nilai  $S_a$ ,  $S_d$ ,  $V$  dan  $D$  tersebut secara rinci.

Tabel 9. Nilai performance point Gedung Presisi 3 Mabes Polri

Performance Point	$S_a$ (g)	$S_d$ (mm)	$V$ (kN)	$D$ (mm)
Arah X	0.63604	333.555	56270.26	461.685
Arah Y	0.596919	412.383	49926.45	565.955

### 3. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan pada pusat massa tingkat di atas dan di bawah yang sedang ditinjau. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 nilai simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) pada suatu bangunan gedung tidak boleh melebihi nilai simpangan antar lantai yang diizinkan ( $\Delta_a$ ). Nilai perpindahan/displacement didapat dari hasil analisis dengan bantuan ETABS. Parameter yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut:

- Simpangan antar tingkat izin,  $\Delta_a = 0.02h$
- Faktor redudansi,  $\rho = 1.3$
- Story Drift Inelastik Izin,  $\Delta_{max} = \Delta_a / \rho = 0.02h / 1.3 = 0.0154h$
- Faktor pembesaran defleksi,  $C_d = 5.5$
- Faktor keutamaan gempa,  $I_e = 1$
- Story Drift Inelastik,  $\Delta = \delta \times C_d / I_e$

Keterangan:

$h$  = tinggi antar tingkat

$\rho = 1.3$  (berdasarkan kategori desain seismik D)

Besarnya simpangan antar lantai pada suatu bangunan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan tersebut

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_a$$

Berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan pada lantai 3 pada arah X

$$\Delta_{max} = 0.0154 \times 4200 \text{ mm} = 64.615 \text{ mm}$$

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5.5 \times (22.934 - 11.253)}{1} = 64.246 \text{ mm}$$

Kontrol simpangan antar tingkat pada lantai 3 arah X

$$64.246 \text{ mm} \leq 64.615 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

$$\delta_y = \frac{C_d \delta_{ye}}{I_e} \leq \Delta_a$$

Berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan pada lantai 3 pada arah Y

$$\Delta_{max} = 0.0154 \times 4200 \text{ mm} = 64.615 \text{ mm}$$

$$\delta_y = \frac{C_d \delta_{ye}}{I_e} = \frac{5.5 \times (18.372 - 7.523)}{1} = 59.670 \text{ mm}$$

Kontrol simpangan antar tingkat pada lantai 3 arah Y

$$59.670 \text{ mm} \leq 64.615 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

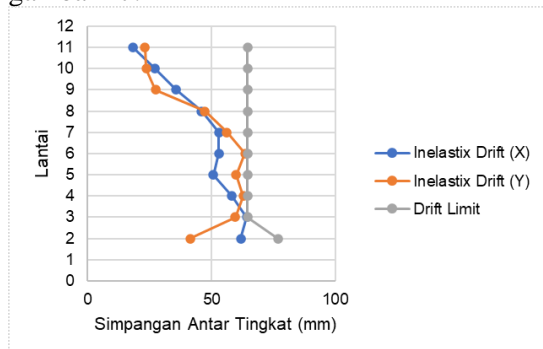
Hasil nilai perpindahan dan simpangan antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang disebabkan oleh gempa statik ekuivalen pada arah X dan Y ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Simpangan antar tingkat metode statik ekuivalen

Lantai	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta e_x$	$\delta e_y$	$\delta e_x$	$\delta e_y$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
11	85.238	84.6	3.362	4.209	4200	18.491	23.149	64.615	OK
10	81.876	80.391	4.961	4.323	4200	27.286	23.777	64.615	OK
9	76.915	76.068	6.511	4.978	4200	35.811	27.379	64.615	OK
8	70.404	71.09	8.354	8.617	4200	45.947	47.394	64.615	OK
7	62.05	62.473	9.641	10.215	4200	53.026	56.183	64.615	OK
6	52.409	52.258	9.648	11.547	4200	53.064	63.509	64.615	OK
5	42.761	40.711	9.224	10.896	4200	50.732	59.928	64.615	OK
4	33.537	29.815	10.603	11.443	4200	58.317	62.937	64.615	OK
3	22.934	18.372	11.681	10.849	4200	64.246	59.670	64.615	OK
2	11.253	7.523	11.253	7.523	5000	61.892	41.377	76.923	OK

Pada Tabel 10 dapat disimpulkan bahwa simpangan antar tingkat dari lantai 2 sampai lantai atap memenuhi simpangan antar tingkat iziinnnya.

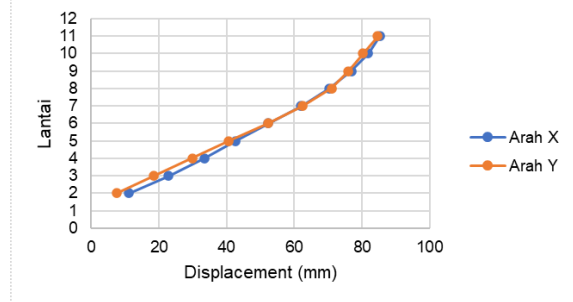
Grafik simpangan antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang disebabkan oleh statik ekuivalen pada arah X dan Y ditunjukkan pada gambar 17.



Gambar 17. Grafik simpangan antar tingkat metode pushover

Pada Gambar 17 simpangan arah X terbesar terjadi pada lantai 3 karena ada perubahan dimensi balok yang digunakan. Berdasarkan gambar 17, simpangan antar tingkat arah X memenuhi simpangan antar tingkatnya. Pada gambar 17 simpangan arah Y terbesar terjadi pada lantai 6 karena ada perubahan dimensi balok dan kolom yang digunakan. Berdasarkan gambar 17, simpangan antar tingkat arah Y memenuhi simpangan antar tingkatnya.

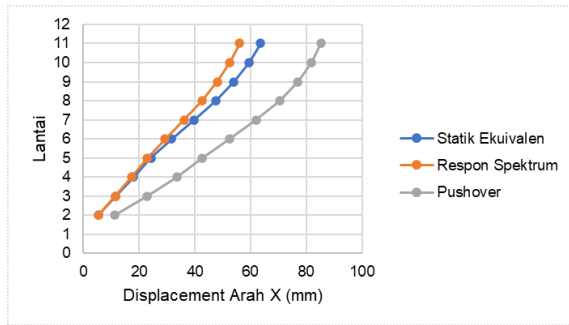
Grafik displacement antar tingkat Gedung Presisi 3 Mabes Polri yang disebabkan oleh pushover pada arah X dan Y ditunjukkan pada gambar 18.



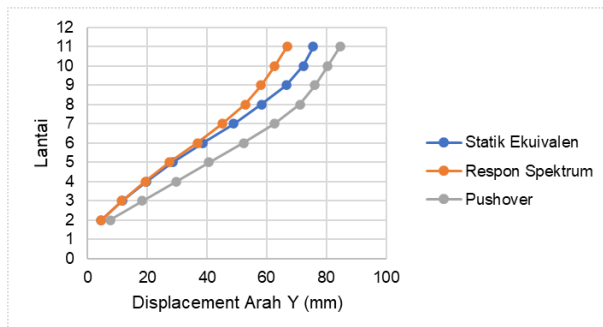
Gambar 18. Grafik displacement antar tingkat metode pushover

Pada Gambar 18 menunjukkan kurva displacement dengan metode pushover, pada arah X menunjukkan nilai displacement tertinggi sebesar 85.238 mm terjadi di lantai atap dan nilai displacement terendah sebesar 11.253 mm terjadi di lantai 2. Pada arah Y menunjukkan nilai displacement tertinggi sebesar 84.6 mm terjadi di lantai atap dan nilai displacement terendah sebesar 7.523 mm terjadi di lantai 2. Dapat dilihat pada gambar 18 displacement arah X lebih besar dari arah Y, karena terjadi lebih dahulu sendi plastis kolom di arah X daripada arah Y.

Analisis berikut menampilkan perbandingan kurva displacement yang diperoleh dari tiga metode berbeda, yaitu pendekatan respons spektrum, metode statik ekuivalen, dan analisis pushover.



Gambar 19. Kurva perbandingan displacement dari ketiga metode arah X



Gambar 20. Kurva perbandingan displacement dari ketiga metode arah Y

Pada Gambar 19 dan Gambar 20 menunjukkan kurva displacement dengan metode statik ekuivalen memiliki nilai displacement terkecil, metode statik ekuivalen memiliki nilai displacement lebih besar dari respon spektrum karena adanya penambahan beban statik dan metode pushover mempunyai nilai displacement terbesar karena adanya penambahan beban secara terus menerus sampai gedung tersebut mengalami keruntuhan.

#### 4.7 Level Kinerja Struktur

##### 1. ATC – 40

Penilaian tingkat kinerja struktur mengacu pada pedoman ATC-40, dengan kriteria penerimaan

Tabel 11. Penentuan level kinerja struktur arah X

Beban Gempa	Dt (mm)	D1 (mm)	Maksimum total drift	Level kinerja struktur	Maksimum Inelastic Drift	Level kinerja struktur
Respon Spektrum	0.055982	0.005391	0.001307991	IO	0.001182033	IO
Statik Ekuivalen	0.06359	0.005435	0.001485748	IO	0.001358762	IO
Pushover	0.085238	0.011253	0.001991542	IO	0.001728621	IO

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan dari ketiga analisis pada tabel 11 didapatkan nilai maksimum total drift terbesar sebesar 0.001991542 dan maksimum inelastic drift terbesar sebesar 0.001728621 yang terjadi

yang didasarkan pada perbandingan antara simpangan dan tinggi total struktur. Simpangan yang dimaksud mencakup simpangan maksimum total serta simpangan maksimum inelastik. Berikut ini contoh penentuan level kinerja pada Gedung Presisi 3 Mabes Polri dengan beban gempa respon spektrum.

Level kinerja arah X

Displacement target,  $D_t = 0.055982 \text{ m}$

Displacement pertama,  $D_1 = 0.005391 \text{ m}$

Tinggi total bangunan,  $H = 42.8 \text{ m}$

Maksimum total drift,  $D_t/H = 0.055982/42.8 = 0.001307991$

Maksimum Inelastic Drift,  $(D_t - D_1)/H = (0.055982 - 0.005391)/42.8 = 0.001182033$

Level kinerja arah Y

Displacement target,  $D_t = 0.066852 \text{ m}$

Displacement pertama,  $D_1 = 0.004529 \text{ m}$

Tinggi total bangunan,  $H = 42.8 \text{ m}$

Maksimum total drift,  $D_t/H = 0.066852/42.8 = 0.001561963$

Maksimum Inelastic Drift,  $(D_t - D_1) / H = (0.066852 - 0.004529) / 42.8 = 0.001456145$

Nilai simpangan total maksimum pada arah X dan Y tercatat kurang dari 0,01, sedangkan simpangan inelastik maksimum berada di bawah 0,005. Dengan demikian, struktur diklasifikasikan dalam level kinerja IO (Immediate Occupancy). Berikut tabel 11 dan tabel 12 merupakan ringkasan tingkat kinerja struktur berdasarkan pembebanan gempa yang dimodelkan dalam penelitian tugas akhir ini.

Tabel 12. Penentuan level kinerja struktur arah Y

Beban Gempa	Dt (mm)	D1 (mm)	Maksimum total drift	Level kinerja struktur	Maksimum Inelastic Drift	Level kinerja struktur
Respon Spektrum	0.066852	0.004529	0.001561963	IO	0.001456145	IO
Statik Ekuivalen	0.07551	0.004577	0.001764252	IO	0.001657313	IO
Pushover	0.0846	0.007523	0.001976636	IO	0.001800864	IO

Berdasarkan dari ketiga analisis pada tabel 12 didapatkan nilai maksimum total drift terbesar sebesar 0.001976636 dan maksimum inelastic drift terbesar sebesar 0.001800864 yang terjadi pada analisis pushover, karena analisis pushover menerima beban terus menerus sampai strukturnya hampir runtuh.

Pada tabel 11 dan tabel 12 hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kinerja struktur pada gedung, saat dikenai beban gempa respons spektrum, statik ekuivalen, dan pushover, berada pada kategori Immediate Occupancy (IO). Hal ini menandakan bahwa struktur tetap dalam kondisi aman, hanya mengalami kerusakan ringan, dan dapat langsung difungsikan kembali. Kekuatan serta kekakuannya hampir tidak mengalami penurunan dibandingkan sebelum gempa, dan sistem penahan beban vertikal maupun lateral masih mampu menahan gaya gempa yang terjadi.

2. FEMA – 440

Perhitungan nilai perpindahan target  $\delta T$  untuk Gedung Presisi 3 Mabes Polri disajikan berikut ini, yang diperoleh berdasarkan metode perhitungan sesuai pedoman FEMA-440 Pasal 3.4 serta evaluasi tingkat kinerja mengacu pada ATC-40.

- Target perpindahan

Arah X

$$T = 1.143 \text{ detik}$$

$$C_m = 1 \text{ (tabel 3 – 1 FEMA 356)}$$

$$S_a = 0.63604$$

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \times C_m$$

$$R = \frac{0.63604}{793666.4901/11377444.75} \times 1$$

$$R = 9.117822217$$

$$C_0 = 1.5 \text{ (tabel 3 – 2 FEMA 356)}$$

$$C_1 = 1 \text{ (jika } T > 1 \text{ detik, maka } C_1 = 1)$$

$$C_2 = 1 \text{ (jika } T > 0.7 \text{ detik, maka } C_2 = 1)$$

$$C_3 = 1$$

Maka nilai  $\delta T$  sebagai berikut

$$\delta T = C_0 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times S_a \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

$$\delta T = 1.5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.63604 \times \left(\frac{1.143}{2\pi}\right)^2$$

$$\delta T = 0.30985$$

Arah Y

$$T = 1.143 \text{ detik}$$

$$C_m = 1 \text{ (tabel 3 – 1 FEMA 356)}$$

$$S_a = 0.596919$$

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \times C_m$$

$$R = \frac{0.596919}{793666.4901/11377444.75} \times 1$$

$$R = 8.557011068$$

$$C_0 = 1.5 \text{ (tabel 3 – 2 FEMA 356)}$$

$$C_1 = 1 \text{ (jika } T > 1 \text{ detik, maka } C_1 = 1)$$

$$C_2 = 1 \text{ (jika } T > 0.7 \text{ detik, maka } C_2 = 1)$$

$$C_3 = 1$$

Maka nilai  $\delta T$  sebagai berikut

$$\delta T = C_0 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times S_a \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

$$\delta T = 1.5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.596919 \times \left(\frac{1.143}{2\pi}\right)^2$$

$$\delta T = 0.29079$$

- Drift Ratio

Arah X =  $Dt / H$   
 $= 0.30985 / 42.8$   
 $= 0.007239$

Arah Y =  $Dt / H$   
 $= 0.29079 / 42.8$   
 $= 0.006794$

Tabel 13. Level kinerja FEMA - 440 Gedung Presisi 3 Mabes Polri

Arah	$\delta T$	Drift Ratio	Performance Level
X	0.30985	0.00724	IO
Y	0.29079	0.00679	IO

Dengan demikian, tingkat kinerja struktur Gedung Presisi 3 Mabes Polri mengacu pada FEMA-440 berada pada kategori Immediate Occupancy. Hal ini didasarkan pada rasio drift yang tercantum dalam Tabel 13, di mana nilainya masih berada di bawah batas kerusakan untuk

kategori tersebut, yaitu  $<0,01$ . Pada level Immediate Occupancy ini, menandakan bahwa struktur tetap dalam kondisi aman, hanya mengalami kerusakan ringan, dan dapat langsung difungsikan kembali. Kekuatan serta kekakuannya hampir tidak mengalami penurunan dibandingkan sebelum gempa, dan sistem penahan beban vertikal maupun lateral masih mampu menahan gaya gempa yang terjadi.

## V. KESIMPULAN

1. Nilai simpangan maksimum dengan analisis respon spektrum untuk arah x sebesar 37.461 mm dan arah y sebesar 51.893 mm. Nilai simpangan maksimum dengan analisis statik ekuivalen untuk arah x sebesar 44.594 mm dan arah y sebesar 56.722 mm. Nilai simpangan maksimum dengan analisis pushover untuk arah x sebesar 64.246 mm dan arah y sebesar 63.509 mm.
2. Nilai perpindahan maksimum dengan analisis respon spektrum untuk arah x sebesar 55.982 mm dan arah y 66.852 mm. Nilai perpindahan maksimum dengan analisis statik ekuivalen untuk arah x sebesar 63.590 mm dan arah y sebesar 75.510 mm. Nilai perpindahan maksimum dengan analisis pushover untuk arah x sebesar 85.238 mm dan arah y sebesar 84.6 mm.
3. Dari hasil analisis pushover didapatkan nilai performance point yakni gaya geser (V) untuk arah x sebesar 56270.2575 kN dengan perpindahan (D) sebesar 461.685 mm dan gaya geser (V) untuk arah y sebesar 49926.4545 kN dengan perpindahan (D) sebesar 565.955 mm.
4. Level kinerja struktur Gedung Presisi 3 Mabes Polri ketika diberi beban gempa respon spektrum, statik ekuivalen dan pushover dengan pedoman ATC – 40 dan FEMA – 440 berada pada level kinerja Immediate Occupancy (IO) karena nilai kinerja struktur yang didapatkan  $< 0.01$ . Hal ini menandakan bahwa struktur tetap dalam kondisi aman, hanya mengalami kerusakan ringan, dan dapat langsung difungsikan kembali.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amajida, A. F. (2023). *Analisis kinerja struktur Apartemen Puncak Kartajaya Surabaya dengan pembebanan gempa dinamik* [Skripsi].
- Aulia, S. (2021). *Analisis kinerja struktur beton tahan gempa dengan metode respons spektrum dan time history (Studi kasus: Cisauk Apartment Anami 1)* [Skripsi].
- Cindy, N. K. (2024). *Analisis kinerja seismik struktur beton dengan metode pushover (Studi kasus: Proyek Gedung 1 ITB Innovation Park (IIP) Bandung Teknopolis Park (SBSN ITB))* [Tugas akhir].
- Dahal, N., Adhikari, B., Thapa, D., Devkota, D., & Arayal, S. (2025). Seismic performance assessment of RC buildings with variable soft storey configurations and infill masonry using nonlinear pushover analysis. *Journal of Civil and Construction Engineering*, 11, 9–33.
- Elnashai, S. A., & Sarno, D. L. (2008). *Fundamentals of earthquake engineering*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Federal Emergency Management Agency. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures (FEMA-440)*. Redwood City, CA.
- Hutahean, N., Napitupulu, J., & Nduru, S. (2020). Analisis dinamis gaya gempa pada bangunan berdasarkan SNI 03-1726-2012. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 9(2), 91–100.
- Mardina, M. T. (2023). *Evaluasi kinerja struktur Apartemen Puri Parkview Tower E Jakarta Barat akibat beban gempa dengan analisis pushover* [Skripsi].
- Safitri, R. A., & Rizki, M. F. (2023). Analisis penentuan kebutuhan shear wall terhadap kekakuan struktur menggunakan time history dan respon spektrum pada gedung perkuliahan di Tangerang. *Jurnal Teknik*, 12(1), 48–56.
- Setiawan, D. B. (2021). *Evaluasi kinerja struktur gedung pada kondisi batas layan dan batas ultimit dengan analisis dinamik metode respons spektrum (Studi kasus: Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi)* [Skripsi].
- Siswanto, S., & Prijasambada. (2023). Analisis kinerja struktur gedung bertingkat menggunakan metode pushover. *Jurnal IKRAITH-Teknologi*, 7(1).
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726. (2002). *Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung*.
- Trangipani, N. M., Wirawan, I. A., & Wiryadi, I. G. (2022). Analisis perilaku struktur gedung sekolah dengan metode respon spektrum (Studi kasus: SMAN 9 Denpasar). *Jurnal Ilmiah Teknik UNMAS*, 2(1).
- Utami, T. P., & Warastuti, N. (2017). Analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa dengan metode pushover (Studi kasus: Gedung Asrama Pusdiklat PPAK, Depok). *Jurnal Infrastruktur*, 3(2), 99–106.