

Perencanaan Struktur Portal Beton Bertulang Menggunakan Elemen Hingga

Nur Ilham Sulaeman^{1),*)}, Yusep Ramdani²⁾, Mohammad Syarif Al-Huseiny³⁾, dan Intan Nuriskha Rachma⁴⁾

^{1), 2), 3), 4), *)}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, INDONESIA

*Corresponding authors: nurilhamsulaeman@gmail.com

Diserahkan 14 Desember 2025. Direvisi 21 Desember 2025. Diterima 08 Januari 2026

ABSTRAK Tingkat pertumbuhan penduduk Kota Tasikmalaya pada tahun 2022–2023 mengalami peningkatan signifikan, sehingga pembangunan gedung bertingkat diimplementasikan sebagai solusi ekspansi vertikal guna memitigasi kepadatan bangunan. Analisis perencanaan struktur diperlukan untuk memastikan kapasitas daya dukung sebelum konstruksi dilaksanakan. Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak Metode Elemen Hingga (MEH) Sederhana dan MEH Tingkat Lanjut guna mengoptimalkan desain struktur melalui penerapan Metode Elemen Hingga (MEH). MEH Tingkat Lanjut dipilih untuk meningkatkan efisiensi perencanaan struktur kompleks dengan kemampuan pemodelan material lanjut. MEH sebagai basis metodologi memodelkan struktur melalui assemblase elemen-elemen sederhana, yang diimplementasikan secara lebih granular dalam MEH Tingkat Lanjut. Hasil verifikasi komparatif antarperangkat lunak menunjukkan reaksi pada perletakan struktur sebesar 2,14% (FX) dan 5% (FY). Deviasi tegangan rata-rata tercatat 4,40% (pelat), 3,28% (balok), dan 5,13% (kolom), dengan *displacement* tiap lantai di bawah 5%. Variasi ini disebabkan perbedaan parameter *input*, khususnya penambahan properti plastisitas pada MEH Tingkat Lanjut, perbedaan pemodelan geometri, serta divergensi konfigurasi *mesh*. Dimensi elemen final yang dihasilkan meliputi kolom 650×650 mm (lantai 1–2) dan 500×500 mm (lantai 3–5), balok 350×500 mm, serta pelat 120 mm. Material struktur menggunakan beton f_c' 29,05 MPa (K350), tulangan utama f_y 420 MPa (D26 untuk kolom-balok; D16 untuk pelat), dan tulangan sengkang f_y 280 MPa (D16).

KATA KUNCI Gedung, Metode Elemen Hingga, Perangkat Lunak

ABSTRACT The population growth rate of Tasikmalaya City during 2022–2023 increased significantly; therefore, multistory building development was implemented as a vertical expansion strategy to mitigate building density. Structural planning analysis is required to ensure adequate load-bearing capacity prior to construction. This study employs Simplified Finite Element Method (FEM) and Advanced FEM software to optimize structural design through FEM-based analysis. Advanced FEM is adopted to enhance the efficiency of complex structural planning by incorporating advanced material modeling capabilities. FEM, as the fundamental methodology, represents the structure as an assemblage of discrete elements, which is implemented in a more granular manner within the Advanced FEM framework. Comparative verification between the software platforms indicates differences in support reactions of 2.14% (FX) and 5.00% (FY). Average stress deviations are 4.40% (slabs), 3.28% (beams), and 5.13% (columns), while interstory displacements remain below the 5% allowable limit. These variations are primarily attributed to differences in input parameters, particularly the inclusion of material plasticity properties in the Advanced FEM model, as well as variations in geometric modeling and mesh configuration. The final structural dimensions include columns measuring 650×650 mm on floors 1–2 and 500×500 mm on floors 3–5, beams measuring 350×500 mm, and slabs with a thickness of 120 mm. Structural materials consist of concrete with a compressive strength of f_c' 29.05 MPa (K350), main reinforcement with f_y 420 MPa (D26 for columns and beams; D16 for plate), and stirrup reinforcement with f_y 280 MPa (D16).

KEYWORDS Building, Finite Element Method, Software

1. PENDAHULUAN

Laju pertumbuhan penduduk di Kota Tasikmalaya pada tahun 2023 sebanyak 741.760 jiwa dengan kenaikan mencapai 1,27% dibanding penduduk tahun 2022 dengan kepadatan penduduk terbesar yaitu 13.672 jiwa/km² (Badan Pusat Statistik, 2024). Hal ini berdampak pada penggunaan lahan yang tersedia, sehingga untuk meminimalkan kondisi kurangnya lahan hijau maka dibuatnya gedung bertingkat sebagai solusi meluaskan pembangunan.

Portal merupakan sistem struktur bangunan yang terdiri dari elemen-elemen yang saling terhubung dan berfungsi sebagai penahan beban. Komponen penyusun struktur tersebut meliputi pelat, balok, dan kolom dengan beton sebagai material utama yang memiliki kapasitas kuat tekan namun lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, beton umumnya didesain dengan

tulangan baja untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya tarik (Whwah *et al.*, 2025). Secara umum, beton terbentuk dari pengerasan campuran semen, air, agregat halus, dan agregat kasar, dengan kuat tekan yang meningkat pesat hingga umur 28 hari, setelah itu laju peningkatan kuat tekan cenderung melambat (Rachma and Noviani, 2025). Oleh karena itu, kuat tekan beton umumnya dijadikan sebagai acuan untuk menentukan kualitas suatu material beton (Ramdani *et al.*, 2023). Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang rendah, sehingga diperlukan tulangan sebagai elemen pendukung untuk meningkatkan kapasitas struktur serta mengendalikan lendutan yang berlebihan. Analisis struktur sederhana umumnya masih dapat dilakukan menggunakan metode konvensional, namun pendekatan tersebut memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan perbedaan sifat material serta perilaku non-linier struktur. Oleh karena itu, diperlukan penerapan metode analisis yang lebih mutakhir untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan representatif (Alius *et al.*, 2020; Effendi, 2021).

Metode Elemen Hingga (MEH) adalah MEH Sederhana dalam Teknik Sipil yang digunakan untuk menganalisis perilaku struktur melalui proses diskretisasi elemen, sehingga respons struktur seperti gaya dalam dan deformasi dapat ditentukan secara komprehensif. (Nicholasta, Kurdi and Satrijo, 2023; Septian Yoganata *et al.*, 2025). Metode Elemen Hingga (MEH) dikembangkan dari *Diagnostic and Analysis Manual* (DSM) dan merupakan bentuk generalisasi dari DSM yang memungkinkan analisis terhadap model struktur kontinu (Liu, Li and Park, 2022). Landasan utama penggunaan MEH adalah pembagian suatu objek menjadi komponen-komponen terpisah untuk memudahkan analisis. Keunggulan inilah yang diterapkan dalam perangkat lunak MEH untuk menyimulasikan beragam jenis material, termasuk logam, polimer, beton bertulang, dan material geoteknik (Hutaajulu, 2023).

Pada simulasi MEH, karakteristik kerusakan dalam kondisi tekan dan tarik ditentukan secara independen oleh dua variabel pengerasan yang berbeda (Le Minh *et al.*, 2021; Qasem *et al.*, 2025). Untuk menentukan parameter tegangan inelastis pada perilaku tekan beton di MEH, digunakan persamaan (1), (2), dan (3) (Amjad Majeed Al-Hilali and Amer Farouk Izzet, 2023):

$$f'c = f'c_u \left[2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{fc}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{fc}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Atau jika disederhanakan menjadi

$$\left(-\frac{1}{0,002^2} \right) \varepsilon_c^2 + \left(-\frac{1}{0,002} \right) \varepsilon_c + \left(-\frac{f'c}{f'c_u} \right) = 0 \quad (2)$$

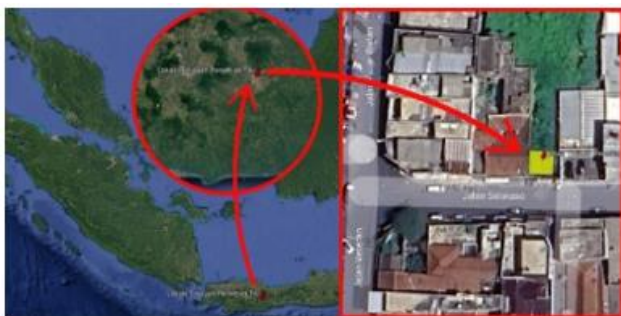
Dalam hal ini persamaan menjadi $Ax^2 + Bx + C = 0$, dengan nilai ε_c adalah tegangan. Sedangkan untuk mencari parameter kerusakannya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d_c = 1 - \frac{f'c}{f'c_u} \quad (3)$$

2. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi portal beton bertulang yang direncanakan berada di Kecamatan Cihideung, Kota Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Secara koordinat terletak pada 7°19'46.65" Lintang Selatan dan 108°13'0.56" Bujur Timur.



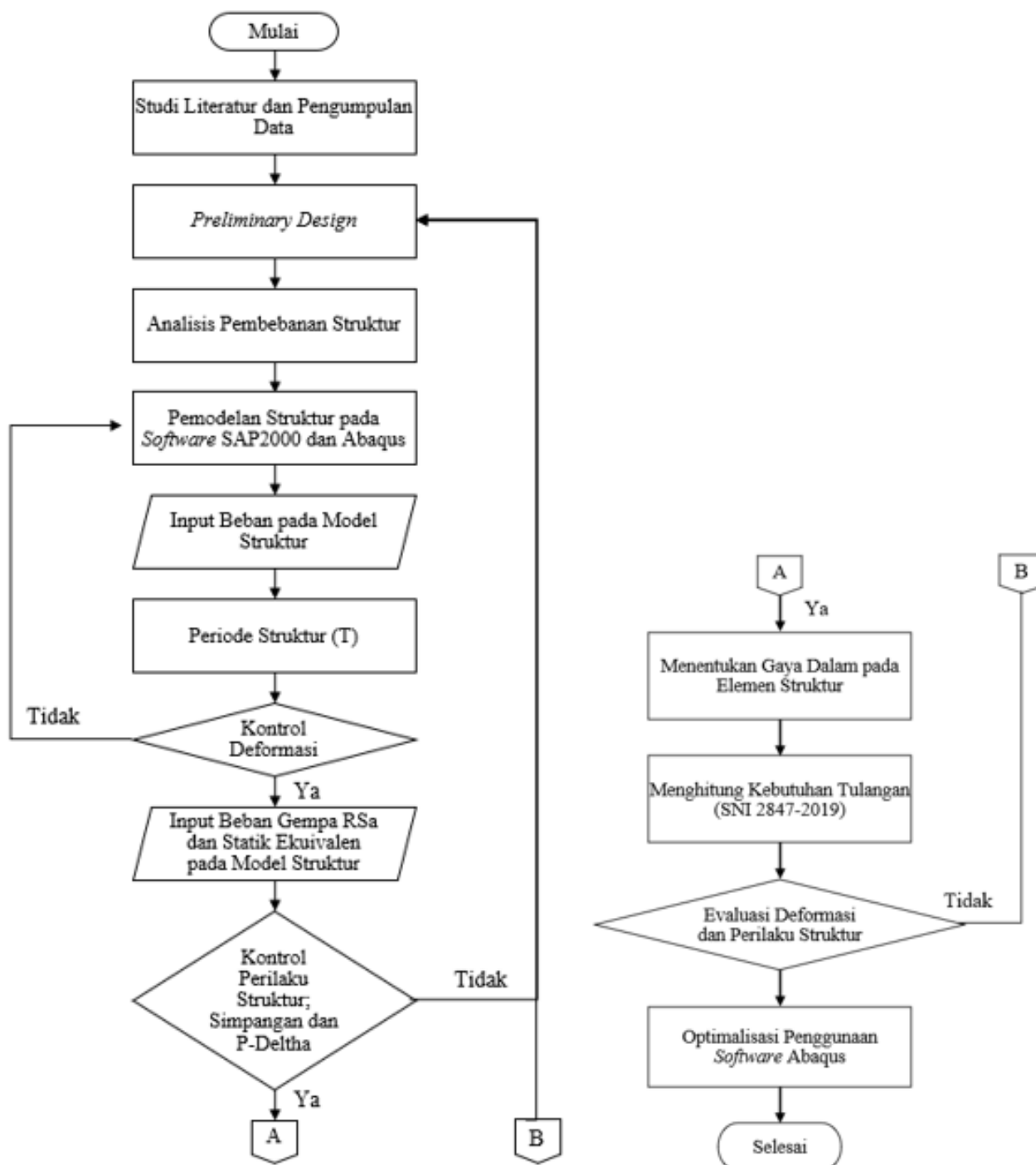
Gambar 1. Lokasi perencanaan gedung perkantoran 5 lantai

2.2 Teknik Pengumpulan Data

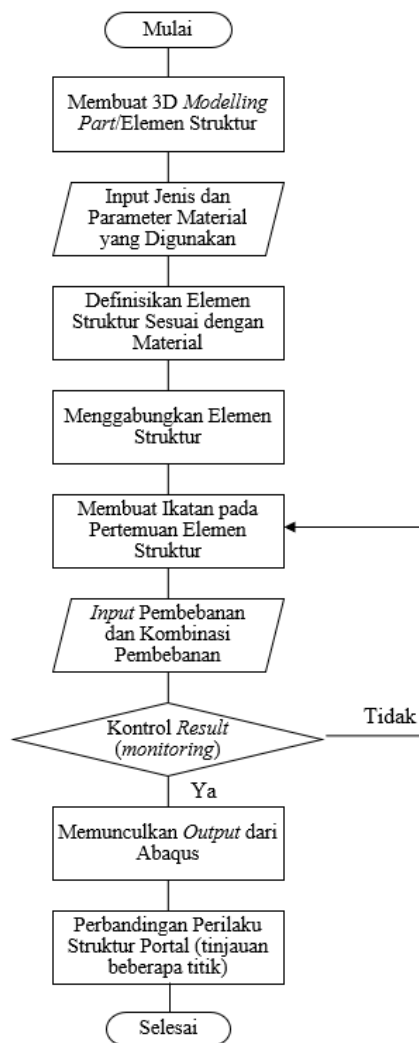
Keperluan data perencanaan struktur gedung perkantoran pada pemodelan ini tidak menggunakan data primer. Penelitian ini hanya menggunakan data sekunder untuk keperluan perencanaan, yaitu berupa data respons spektrum gempa dari halaman resmi Cipta Karya dengan jenis tanah yang digunakan adalah lunak.

2.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Bagan alir penelitian



Gambar 3. Bagan alir penelitian analisis perencanaan di *software* MEH Tingkat Lanjut

2.4 Pembebanan

Setelah tahap pendefinisian material dan geometri selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah penentuan skema pembebanan. Adapun jenis dan besaran beban yang diberikan pada model adalah sebagai berikut.

2.4.1 Beban Mati

Berat jenis material beton bertulang diketahui $23,536 \text{ kN/m}^3$ dan baja tulangan $76,97 \text{ kN/m}^3$.

2.4.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Beban mati tambahan per m^2 pada seluruh pelat lantai

No.	Jenis Beban	Berat (kN/m^2)	Keterangan
1	Penggantung langit-langit (material baja)	0,10	Lampiran C3.1 SNI 1727-2020
2	Plafond (papan serat akustik)	0,05	
3	Keramik 1,9 cm di atas mortar 2,5 mm	1,10	
4	Instalasi Listrik	0,10	
5	Pipa Air Bersih dan Kotor	0,10	
6	Lapisan <i>Waterproofing</i>	0,05	
Total		1,50	

Tabel 2. Beban mati tambahan per m^2 pada pelat atap

No.	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Keterangan
1	Penggantung langit-langit (material baja)	0,10	SNI 1727-2020 Lampiran C3.1
2	Plafond (papan serat akustik)	0,05	
3	Instalasi Listrik	0,10	
4	Pipa Air Bersih dan Kotor	0,10	
5	Lapisan <i>Waterproofing</i>	0,05	
Total		0,40	

Selanjutnya, beban dinding yang akan di-*input* pada balok secara merata dengan perhitungan sebagai berikut:

Beban dinding (batako) = 1,96 kN/m² (PPPURG 1987)

Plesteran di kedua Sisi = $0,24 \times 0,025 = 0,006 \times 2 = 0,012$ kN/m² (Lampiran C3.1 SNI 1727-2020)

Beban Total (q) = $1,961 + 0,012 = 1,973$ kN/m²

Beban dinding pada seluruh balok yaitu:

Tinggi Balok (hb) = 0,5 m

Tinggi Dinding (Hd) = $h - hb = 3 - 0,5 = 2,5$ m

Beban Dinding (qHd) = $q \times Hd = 1,973 \times 2,5 = 4,933$ kN/m

2.4.3 Beban Hidup

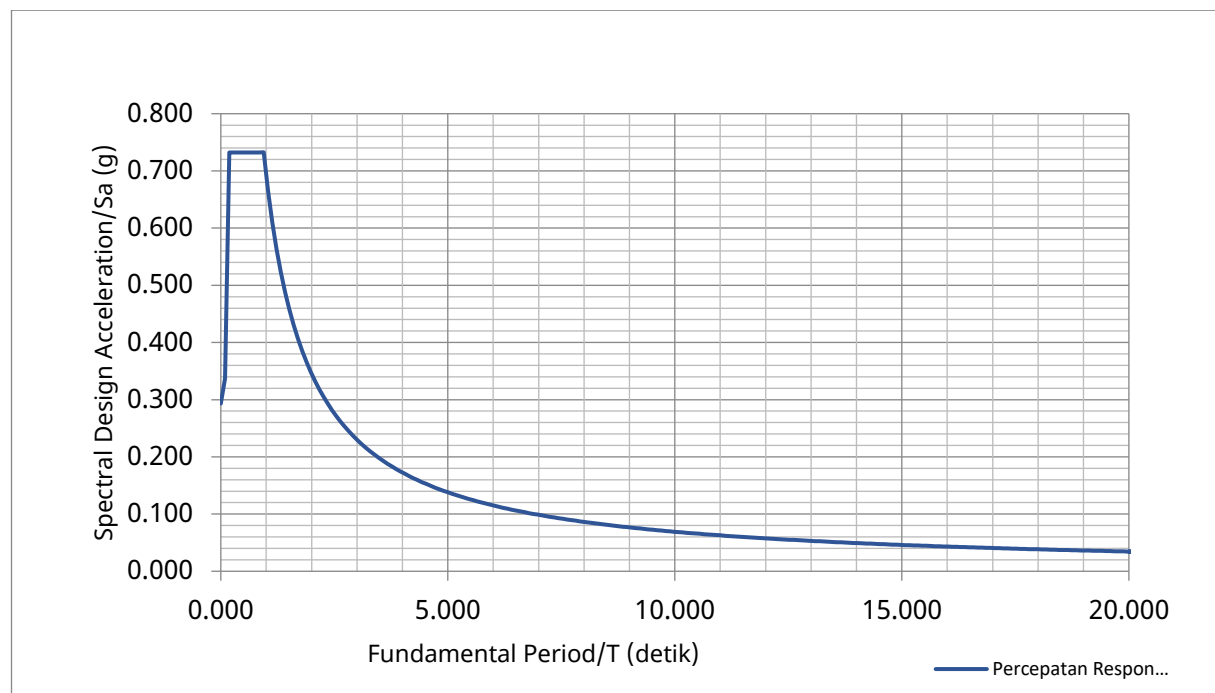
Beban hidup dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beban hidup per m² pada pelat

No.	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Keterangan
1	Lantai 1	4,79	Tabel 4.3.1 SNI 1727-2020
2	Lantai 2 – 4	2,40	
3	Atap	0,96	
4	Partisi	0,72	

2.4.4 Beban Gempa

Nilai Sa yang dimasukkan pada kedua *software* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Kurva percepatan respons spektrum (S_a).

2.4.5 Beban Kombinasi

Beban kombinasi yang digunakan yaitu beban kombinasi ultimit karena tanpa perhitungan fondasi (Tabel 4).

Tabel 4. Beban kombinasi ultimit

No.	DL	SIDL	LL	L _r	E _x	E _y	Ket.
1	1,40	1,40					
2	1,20	1,20	1,60	0,50			Beban Kombinasi Dasar
3	1,20	1,20	1,00	1,60			
4	1,20	1,20	1,00	0,50			
5	0,90	0,90					
	1,35	1,35	1,00		1,00	0,30	
	1,35	1,35	1,00		1,00	-0,30	Pengaruh Beban Seismik
	1,35	1,35	1,00		-1,00	0,30	
6	1,35	1,35	1,00		-1,00	-0,30	
	1,35	1,35	1,00		0,30	1,00	
	1,35	1,35	1,00		-0,30	1,00	
	1,35	1,35	1,00		0,30	-1,00	
	1,35	1,35	1,00		-0,30	-1,00	
	0,75	0,75			1,00	0,30	
	0,75	0,75			1,00	-0,30	
	0,75	0,75			-1,00	0,30	
7	0,75	0,75			-1,00	-0,30	
	0,75	0,75			0,30	1,00	
	0,75	0,75			-0,30	1,00	
	0,75	0,75			0,30	-1,00	
	0,75	0,75			-0,30	-1,00	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Mutu Beton

Mutu beton yang digunakan pada perencanaan portal beton bertulang ini adalah K-350 atau 29,05 MPa untuk seluruh struktur (kolom, balok, dan pelat). Pada kondisi sebelum mutu beton yang direncanakan tercapai, maka nilai keruntuhan atau kerusakan dianggap nol (0) atau mendekati nol karena pada mutu beton tersebut kondisi kerusakan yang terjadi sangat kecil. Parameter yang perlu dimasukkan pada *software* MEH ini yaitu berupa parameter plastisitas beton pada Tabel 5 dan Tabel 6.

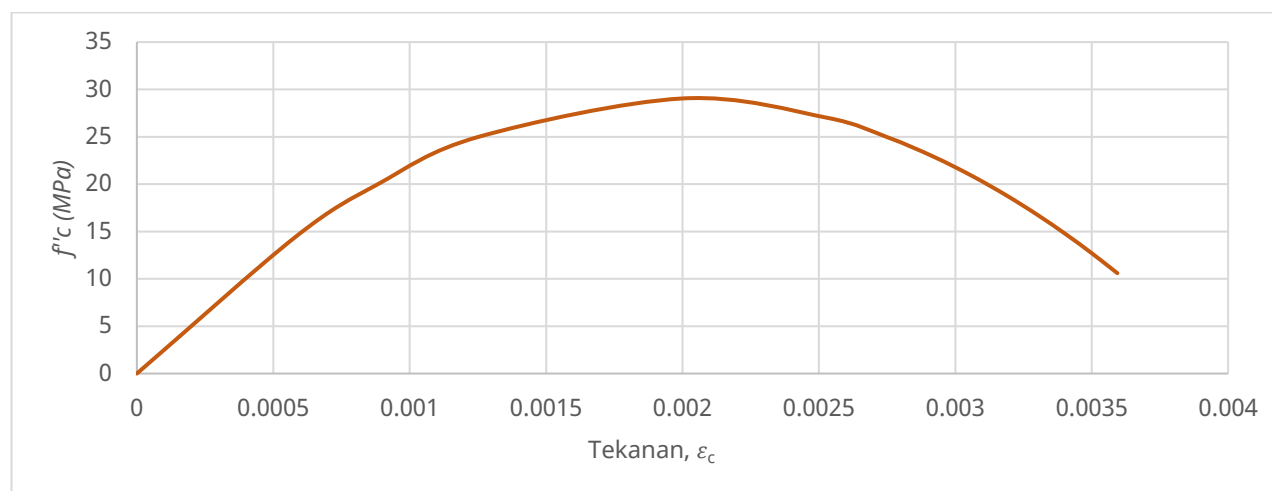
Tabel 5. Parameter elastisitas dan plastisitas beton K-350.

Mutu Material Beton	K-350 atau <i>f</i> _c 29,05 MPa	Parameter Plastisitas Beton	
		<i>Dilatation Angle</i>	31,00
Parameter Elastisitas Beton		<i>Eccentricity</i>	0,10
<i>Density</i>	2,404 x 10 ⁻⁰⁹ MPa	fb ₀ /fc ₀	1,16
Modulus, E	25332,08 MPa	K	0,67
Rasio Poisson	0,2	<i>Viscosity</i>	0,01

Tabel 6. Parameter plastisitas kuat tekan beton K-350.

Concrete Compressive Behavior			Concrete Compression Damage	
Yield Stress, f_c (MPa)	Strain ϵ_c	Inelastic Strain	Damage Parameter	Inelastic Strain
14,50	0,000585	0,00000	0	0,00000
20,00	0,000884	0,00030	0	0,00030
25,00	0,001253	0,00067	0	0,00067
29,05	0,002	0,00142	0	0,00142
27,00	0,002531	0,00195	0,07057	0,00195
24,95	0,002751	0,00217	0,14114	0,00217
22,90	0,00292	0,00234	0,21170	0,00234
20,85	0,003063	0,00248	0,28227	0,00248
18,80	0,003188	0,00260	0,35284	0,00260
16,75	0,003301	0,00272	0,42341	0,00272
14,70	0,003406	0,00282	0,49398	0,00282
12,65	0,003503	0,00292	0,56454	0,00292
10,60	0,003594	0,00301	0,63511	0,00301

Adapun grafik kuat tekan beton adalah sebagai berikut pada Gambar 5.



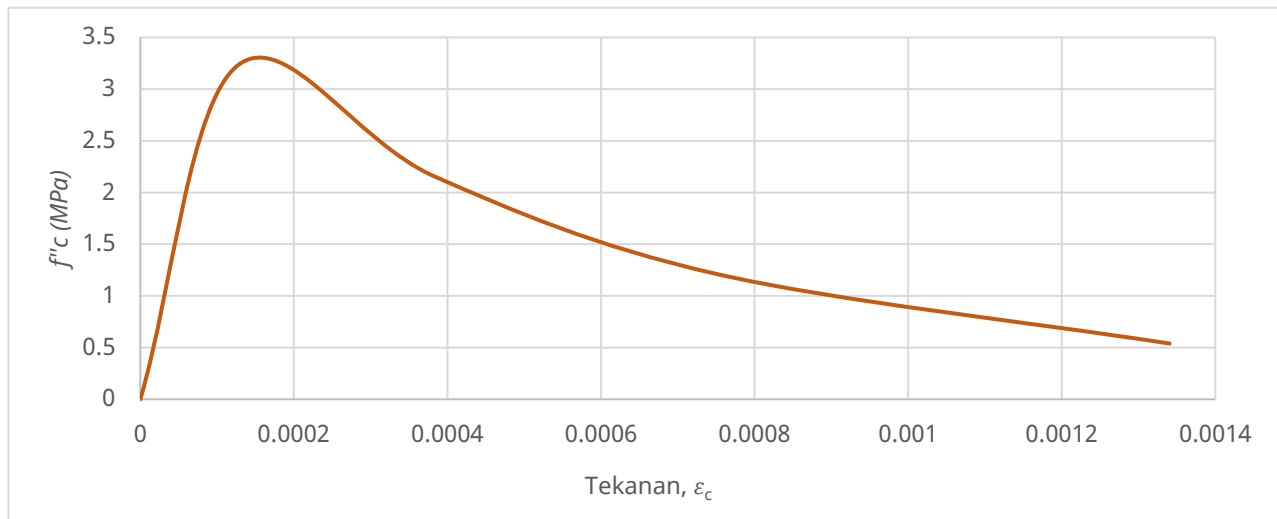
Gambar 5. Grafik respons beton K-350 terhadap kuat tekan

Sedangkan parameter plastisitas kuat tarik beton pada pemodelan dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Parameter plastisitas kuat tarik beton K-350

Concrete Tensile Behavior			Concrete Tension Damage	
Yield Stress, f_c (MPa)	Strain ϵ_c	Cracking Strain	Damage Parameter	Cracking Strain
3,23	0,000128	0,00000	0,00000	0,00000
2,16	0,000383	0,00026	0,33333	0,00026
1,21	0,000750	0,00062	0,62500	0,00062
0,54	0,001340	0,00121	0,83333	0,00121

Adapun grafik tarik tekan beton adalah sebagai berikut pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik respons beton K-350 terhadap kuat tarik

3.2 Mutu Tulangan Baja

Pada penelitian ini, mutu baja tulangan yang digunakan untuk tulangan lentur atau utama (D) yaitu BJTS 420, $f_y = 420$ MPa, dan $f_u = 525$ MPa. Selanjutnya, untuk tulangan geser (D) menggunakan BJTS 280 dengan nilai $f_y = 280$ MPa dan $f_u = 350$ MPa. Untuk parameter yang digunakan pada tulangan dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9. Selain plastisitas beton, parameter plastisitas baja tulangan juga perlu dimasukkan pada MEH.

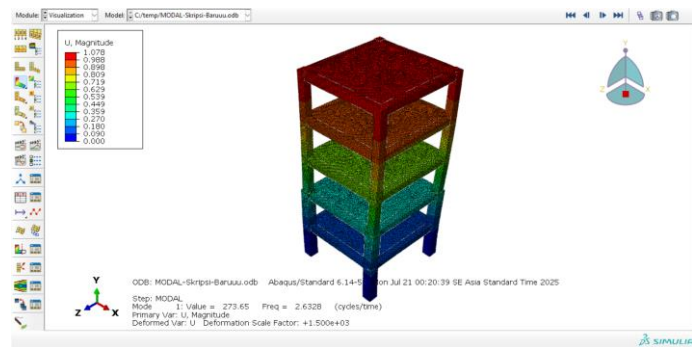
Tabel 8. Parameter plastisitas baja tulangan f_y 280 MPa

Parameter Plastisitas Baja Tulangan	
<i>Yield Stress, f_y (MPa)</i>	<i>Plastic Strain</i>
230,00	0,00000
240,50	0,00009
265,00	0,00038
280,00	0,00085
270,00	0,00122
260,00	0,00138
255,00	0,00144
250,00	0,00150

Tabel 9. Parameter plastisitas baja tulangan f_y 420 MPa

Parameter Plastisitas Baja Tulangan	
<i>Yield Stress, f_y (MPa)</i>	<i>Plastic Strain</i>
400,00	0,00000
405,00	0,00006
410,00	0,00013
420,00	0,00044
415,00	0,00065
407,00	0,00079
401,00	0,00086
390,00	0,00097

3.3 Model Struktur

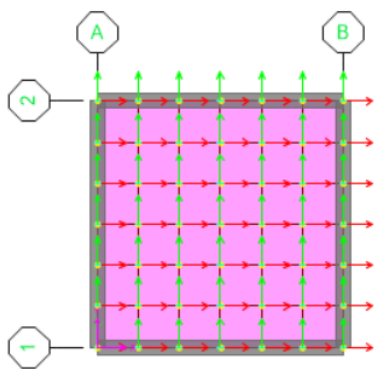


Gambar 7. Bentuk visual deformasi pada struktur

Dari proses simulasi yang dilakukan dengan *software* MEH pada Gambar 7, ditunjukkan dengan bentuk deformasi dan skala warna yang dilakukan pada pemodelan setelah simulasi. Warna tersebut menunjukkan nilai besaran tegangan dan regangan yang terjadi pada balok hasil simulasi.

3.4 Analisis Reaksi Pada Perletakan

Evaluasi perencanaan struktur portal beton bertulang perlu dicek gaya reaksi pada perletakan struktur. Kondisi perletakan yaitu jepit, dengan perbandingan nilai MEH Sederhana dan MEH Tingkat Lanjut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Denah tampak atas pada MEH Sederhana

Adapun hasil rekapitulasi reaksi pada perletakan struktur portal adalah sebagai berikut pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi reaksi pada perletakan struktur portal

Lokasi	Reaksi	MEH Sederhana	MEH Tingkat Lanjut	Selisih (%)
As A2	FX (N)	58177,00	56930,23	2,14
	FY (N)	57610,00	54730,43	5,00
	M3 (Nmm)	1698,90	1572,30	7,45
As A1	FX (N)	58177,00	56930,23	2,14
	FY (N)	57610,00	54730,43	5,00
	M3 (Nmm)	1698,90	1572,30	7,45
As B2	FX (N)	58177,00	56930,23	2,14
	FY (N)	57610,00	54730,43	5,00
	M3 (Nmm)	1698,90	1572,30	7,45
As B1	FX (N)	58177,00	56930,23	2,14
	FY (N)	57610,00	54730,43	5,00
	M3 (Nmm)	1698,90	1572,30	7,45

Berdasarkan Tabel 10 maka dapat diketahui nilai yang didapat dari MEH merupakan nilai hasil penjumlahan dari beberapa data pada beberapa titik. Selain itu, nilai pada setiap reaksi perletakan tersebut sama dikarenakan bentuk bangunan yang simetris serta beban yang sama.

3.5 Analisis Tegangan

Rekapitulasi perbandingan nilai tegangan yang didapat pada MEH Sederhana dan MEH dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Rekapitulasi perbandingan tegangan pada MEH Sederhana dan MEH (N/mm²).

Lantai	Elemen	MEH Sederhana	MEH Tingkat Lanjut	Selisih (%)
5	Pelat	2,04	1,96	3,92
	Balok	2,81	2,99	6,02
	Kolom	2,09	2,24	6,70
4	Pelat	3,29	3,31	0,60
	Balok	4,50	4,49	0,22
	Kolom	3,56	3,38	5,06
3	Pelat	4,51	4,77	5,45
	Balok	6,13	5,92	3,43
	Kolom	3,77	3,61	4,24
2	Pelat	3,30	3,53	6,52
	Balok	5,96	5,69	4,53
	Kolom	3,77	3,95	4,56
1	Pelat	2,06	1,98	5,52
	Balok	4,35	4,46	2,20
	Kolom	5,80	6,11	5,07

Diketahui nilai yang diambil sebagai nilai perbandingan ini merupakan nilai maksimum dari S11 (Y) dan S33 (X) seluruh *mesh* per elemen yang ditinjau. Berdasarkan tabel diatas hasil tegangan yang didapat dari kedua aplikasi MEH SEDERHANA dan MEH memiliki nilai yang berdekatan yaitu nilai rata-rata mencapai 2,30% untuk pelat, 3,42% untuk balok, dan 5,13% untuk kolom, maka berdasarkan hal tersebut penggunaan *software* MEH dapat digunakan untuk optimalisasi perencanaan analisis struktur.

3.6 Validasi Displacement

Perilaku struktur yang menjadi salah satu faktor utama untuk melihat keamanan dan kestabilan bangunan dapat dilihat melalui *displacement* atau perpindahan. Nilai ini didapat melalui *output displacement* pada menu *display* hasil dengan parameter berpengaruh yaitu dari beban gempa dinamik yang sudah di-*input*. *Displacement* yang ditampilkan pada MEH ini berupa grafik dengan hasil yang didapatkan yaitu per *joint*/titik dengan ketentuan harus memunculkan seluruh titik satu baris sebagai bahan perbandingan untuk mendapatkan nilai maksimum.

Tabel 12. Validasi *displacement* titik atas portal

Lantai	MEH Sederhana (mm)	MEH Tingkat Lanjut (mm)	Persentase (%)
5	31,998	33,12	3,39
4	27,03	27,68	2,35
3	19,43	19,94	2,56
2	10,48	10,85	3,12
1	3,34	3,42	2,34

Berdasarkan Tabel 12, diketahui nilai tersebut berbeda setiap lantainya diakibatkan karena adanya perbedaan bentuk simulasi MEH Sederhana dengan MEH, yang mana perpindahan ini dipengaruhi oleh beban dinamik pada struktur. Selain itu, pengisian parameter yang digunakan terdapat rincian detail yang sedikit berbeda di antara kedua aplikasi ini sehingga mempengaruhi respons struktur itu sendiri, dengan hasil persentase rata-rata kurang dari 5%.

3.7 Optimalisasi Penggunaan *Software* MEH Sederhana dan MEH Tingkat Lanjut

Strategi yang perlu dilakukan untuk memanfaatkan keunggulan kedua *software* MEH sederhana dan MEH tingkat lanjut ini dapat dilihat pada poin-poin berikut:

1. Pemodelan awal dapat dilakukan dengan menggunakan MEH Sederhana untuk mengetahui jumlah dan diameter tulangan yang digunakan serta dimensi dari keseluruhan elemen.
2. Analisis statis dan dinamik awal pada MEH Sederhana untuk verifikasi *displacement* dan *drift* atau batas antar lantai sesuai dengan SNI.
3. Pemodelan lanjutan menggunakan MEH dengan menerapkan *Concrete Damaged Plasticity* (CDP) untuk simulasi perilaku beton retak atau leleh, serta pemodelan tulangan yang ada di dalam elemen beton.
4. Validasi kinerja struktur dan verifikasi respons gempa untuk melihat kapasitas struktur, selain itu identifikasi zona kritis yang umumnya pada titik balok-kolom perlu diperkuat dengan melihat hasil dari MEH.
5. Mengoreksi desain dari MEH, jika menunjukkan retak berlebih atau defleksi tidak aman, maka diperlukan peningkatan dimensi kolom dan balok pada MEH Sederhana serta menambah jumlah tulangan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perencanaan struktur portal beton bertulang sederhana menerapkan jenis pembebanan yang umum digunakan, meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, serta beban gempa dinamik. Pemodelan struktur pada perangkat lunak berbasis MEH Sederhana dan MEH tingkat lanjut menunjukkan perbedaan pendekatan visual dan teknis. MEH Sederhana merepresentasikan struktur sebagai sistem rangka utuh berbasis *grid*, sedangkan MEH tingkat lanjut memodelkan struktur sebagai gabungan elemen pelat, balok, kolom, dan tulangan yang dianalisis secara rinci melalui proses *meshing*. Material yang digunakan terdiri atas beton K350 dengan kuat tekan 29,05 MPa, tulangan utama fy 420 MPa (D26 untuk kolom dan balok, serta D16 untuk pelat), dan tulangan sengkang fy 280 MPa (D16). Dimensi elemen struktur meliputi kolom berukuran 650×650 mm pada lantai 1–2 dan 500×500 mm pada lantai 3–5, balok 350×500 mm, serta pelat setebal 120 mm.

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa respons struktur yang dihasilkan kedua metode relatif sebanding, dengan perbedaan nilai reaksi sebesar 2,14% untuk arah FX dan 5% untuk arah FY. Deviasi tegangan rata-rata tercatat sebesar 4,40% pada pelat, 3,28% pada balok, dan 5,13% pada kolom, sementara nilai *displacement* antar lantai berada di bawah batas 5%. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh variasi parameter *input*, khususnya penerapan plastisitas pada MEH, perbedaan pemodelan geometri, serta konfigurasi *mesh*. Optimalisasi penggunaan kedua perangkat lunak dapat dilakukan dengan memanfaatkan MEH Sederhana pada tahap awal iterasi perhitungan dan perencanaan dimensi serta tulangan, kemudian menggunakan MEH untuk validasi perilaku dan verifikasi kinerja struktur. Dengan demikian, MEH Sederhana menghasilkan desain yang efisien dan memenuhi ketentuan perencanaan, sedangkan MEH memastikan keamanan struktur terhadap deformasi berlebih.

REFERENSI

- Alius, F. *et al.* (2020) 'Non-linear finite element analysis of reinforced concrete deep beam with web opening', *Journal of Civil Engineering*, 35(1), p. 3. Available at: <https://doi.org/10.12962/j20861206.v35i1.7480>.
- Amjad Majeed Al-Hilali and Amer Farouk Izzet (2023) '3D- MEH Modelling of Prestressed Concrete Hunched Beams with Multi-Openings of Different Shapes', *Journal of Engineering*, 29(8), pp. 149–170. Available at: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2023.08.11>.
- Badan Pusat Statistik (2024) *Statistik indonesia, Statistik Indonesia*. Available at: <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>.
- Effendi, M.K. (2021) 'Pengaruh Model Analisa Elemen Hingga dan Sifat Material Terhadap Perilaku Struktural Tabung Baja Persegi Diisi Beton', *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v19i1.4967>.
- Hutaajulu, L.S.N. (2023) 'Analisis Tegangan Lentur pada Balok Beton Bertulang Dengan Beban Terpusat', *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 9(2), p. 38. Available at: <https://doi.org/10.20961/ijcee.v9i2.83604>.

- Liu, W.K., Li, S. and Park, H.S. (2022) 'Eighty Years of the Finite Element Method: Birth, Evolution, and Future', *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(6), pp. 4431–4453. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09740-9>.
- Le Minh, H.- *et al.* (2021) 'A concrete damage plasticity model for predicting the effects of compressive high-strength concrete under static and dynamic loads', *Journal of Building Engineering*, 44, p. 103239. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103239>.
- Nicholasta, K.L., Kurdi, O. and Satrijo, D. (2023) 'Analisa Tegangan Pada Bejana Tekan Berskala Industri Menggunakan Metode Elemen Hingga', *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2). Available at: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/39217>.
- Qasem, M. *et al.* (2025) 'Generalised calibration and optimization of concrete damage plasticity model for finite element simulation of cracked reinforced concrete structures', *Results in Engineering*, 25, p. 103905. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103905>.
- Rachma, I.N. and Noviani, S.A. (2025) 'Pengaruh Variasi Ketinggian Tekanan Beton Segar terhadap Ketahanan Formwork pada Struktur Pile Cap Jembatan', *Akselerasi : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 6(2), pp. 52–61. Available at: <https://doi.org/10.37058/aks.v6i2.14036>.
- Ramdani, Y. *et al.* (2023) 'the Damping Properties of a Steel Structural Model With a Box-Shapedwater Reservoir Upon Top Floor', *International Journal of GEOMATE*, 24(101), pp. 33–42. Available at: <https://doi.org/10.21660/2023.101.3633>.
- Septian Yoganata, Y. *et al.* (2025) 'Analisis Nilai Tegangan Terhadap Variasi Cekungan pada Pelat Baja Menggunakan Finite Element Method', *Jurnal Serambi Engineering*, 10(2), pp. 13080–13090.
- Whwah, M.S. *et al.* (2025) 'Investigation of the Effects of Water-to-Cement Ratios on Concrete with Varying Fine Expanded Perlite Aggregate Content', *Journal of Composites Science*, p. 390. Available at: <https://doi.org/10.3390/jcs9080390>.