

## ANALISIS STRUKTUR BETON BERTULANG KOLOM PIPIH PADA GEDUNG BERTINGKAT

Steven Limbongan

Servie O. Dapas, Steenie E. Wallah

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [limbongansteven@gmail.com](mailto:limbongansteven@gmail.com)

### ABSTRAK

*Perencanaan ataupun disain merupakan suatu faktor yang sangat menentukan untuk menjamin kekuatan dan keamanan suatu struktur bangunan, bangunan dengan beban yang besar juga membutuhkan struktur penopang yang juga besar, sehingga mampu menahan beban yang ada. Kolom dengan dimensi cukup besar akan memberikan dampak ukuran ruangan yang menjadi semakin kecil. Hal ini dapat menyebabkan fungsi ruangan menjadi terganggu. Sedangkan jika kolom terlalu kecil, ukuran ruangan menjadi lebih besar, tetapi belum tentu kuat untuk menahan beban yang ada. sebagai alternatif dibuat kolom pipih dengan tebal mengikuti lebar ukuran dinding agar masalah pengurangan luas ruangan yang telah direncanakan teratasi.*

*Dari hasil analisis model dengan variasi tebal yaitu 15cm, 20cm, dan 25cm, serta variasi tinggi tiap lantainya yaitu 3m, 3.2m, dan 3.5m menunjukkan bahwa ketebalan dinding 15cm mempunyai tinggi lantai optimal yang dihasilkan kecil dibandingkan dengan tebal dinding 25cm yang mempunyai tinggi lantai yang lebih besar, namun dari beberapa pertimbangan tebal 20cm dianggap sebagai pilihan yang ekonomis. Selain itu hasil analisis struktur kolom, menunjukkan bahwa kolom termasuk kolom panjang atau langsing terlihat dari rasio kelangsingannya ( $40,93 > 22$ ) serta kolom mengalami perilaku tertekuk.*

**Kata kunci :** *disain, dimensi kolom pipih, tinggi antar tingkat, bangunan bertingkat, kolom panjang, perilaku kolom*

### PENDAHULUAN

#### Latar belakang

Disain struktur merupakan faktor yang sangat menentukan untuk menjamin kekuatan dan keamanan suatu struktur bangunan, karena inti dari suatu bangunan terletak pada kekuatan bangunan itu sendiri, khususnya untuk bangunan bertingkat, yang sangat dipengaruhi oleh perancangan yang matang. Selain itu desain struktur juga harus memperhatikan nilai ekonomisnya. Proses desain yang sangat penting meliputi penentuan besar penampang lintang balok, kolom dan elemen struktur lainnya.

Kolom sebagai komponen struktur mempunyai tugas utama yaitu menyangga beban aksial tekan vertikal. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin. kolom berfungsi sangat penting agar bangunan tidak roboh.

Bangunan dengan beban yang besar juga membutuhkan struktur penopang yang juga besar, sehingga mampu menahan beban yang ada. Kolom dengan dimensi cukup besar akan memberikan dampak ukuran ruangan yang menjadi semakin kecil. Hal ini dapat menyebabkan fungsi ruangan menjadi terganggu. Sedangkan jika kolom terlalu kecil, ukuran ruangan menjadi lebih besar, tetapi belum tentu kuat untuk menahan beban yang ada.

Sebagai alternatif dibuat kolom pipih dengan tebal mengikuti lebar ukuran dinding agar masalah pengurangan luas ruangan yang telah direncanakan teratasi. kolom beton bertulang pipih dalam suatu konstruksi bangunan merupakan suatu trend (*gaya*) yang umum. Dengan adanya kolom pipih ruangan bagian dalam menjadi lebih indah (*penambahan nilai estetika*).

Dalam penelitian ini dilakukan perencanaan kolom pipih karena pada dasarnya kebanyakan orang hanya mengetahui bahwa struktur kolom itu merupakan kolom pipih tanpa mengetahui cara mendisainnya.

**Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diambil suatu rumusan masalah yaitu bagaimana cara mendisain kolom pipih beton bertulang pada gedung bertingkat dan bagaimana perilaku kolom pipih tersebut ?

**Batasan Masalah**

Supaya penelitian ini terfokus dan tidak melebar luas, maka perlu adanya batasan permasalahan. Adapun batasan permasalahan dalam penelitian ini, yaitu

1. Pemodelan dan analisa simpangan yang terjadi ditiap lantai dilakukan dengan *software* ETABS dan ditinjau secara 3 dimensi
2. Analisis dan disain didasarkan atas SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-2847-2013
3. Struktur bangunan adalah struktur beraturan yang merupakan struktur beton bertulang,
4. Denah struktur adalah 4 bentang arah X dan 3 bentang arah Y serta masing-masing panjang bentang 4 m

**Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi kemampuan kolom pipih dalam menerima beban gempa dinamis serta simpangan antar lantai di tiap tingkat

**Manfaat Penelitian**

- Manfaat dari penelitian ini, yaitu :
1. Dapat mengestimasi dimensi kolom pipih yang optimal pada gedung bertingkat.
  2. Dapat menentukan tinggi lantai yang optimal dengan penggunaan kolom pipih

**LANDASAN TEORI**

**Perencanaan Struktur Beton Bertulang**

Ada dua metode yang umum digunakan untuk perencanaan struktur beton bertulang, yaitu metode beban kerja (*working stress design*) dan metode kekuatan batas (*ultimate strength design*). Metode beban kerja sangat populer pada masa lampau, yaitu sekitar awal sampai pertengahan abad 19. Penelitian mengenai metode kekuatan batas mulai banyak dilakukan pada tahun 1950-an. Sedangkan di Indonesia mulai diperkenalkan metode kekuatan batas pada tahun 1955 dengan peraturan dan pedoman standar yang mengatur perencanaan dan

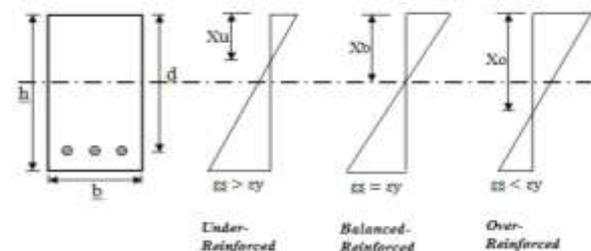
pelaksanaan bangunan beton bertulang yaitu Peraturan Beton Indonesia 1955 (PBI 1955) kemudian PBI 1971.

Pada Peraturan Beton Indonesia 1971 ( PBI 1971 ) metode kuat batas di perkenalkan sebagai metode alternatif (masih mengandalkan metode beban kerja). Kemudian tahun 1991 dengan dikeluarkannya peraturan SK SNI T-15-1991-03 tentang “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung” telah mengacu pada kuat batas yang merujuk pada peraturan perencanaan struktur beton amerika (ACI 318-89). Sedangkan edisi lain yaitu SK SNI 03-2847-2013 yang mengacu pada ACI 318M-11 *Building Code Requirements for Structural Concrete*.

**Keruntuhan Lentur Akibat Kondisi Batas (Ultimate)**

Keruntuhan lentur dapat terjadi dalam tiga cara yang berbeda :

1. Keruntuhan Tarik,
2. Keruntuhan Tekan.
3. Keruntuhan Balans



Gambar 1. Diagram regangan tipe keruntuhan penampang

**Batas Kelangsingan Kolom**

Kolom dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu kolom pendek dan kolom panjang (kolom langsing). Perbedaan ini di tinjau dari rasio kelangsingan kolom, yaitu nilai perbandingan ukuran antara pendek atau panjangnya kolom terhadap dimensi lateral.

Kegagalan pada kolom pendek, biasanya terjadi karena hancurnya material beton atau baja tulangan. Tetapi kegagalan pada kolom panjang , biasanya terjadi karena tertekuknya batang sehingga patah. Dalam hal perilaku deformasi kolom akibat menahan beban horizontal, kolom dibedakan menjadi 2 macam, yaitu : kolom tidak dapat bergoyang dan kolom dapat bergoyang.

SNI 03-2847-2013 memberikan suatu batasan syarat berikut :

1. Untuk kolom yang dapat bergoyang (Pasal 10.10.1a)

$$\frac{k \cdot \ell_u}{r} \leq 22$$

$$r = \sqrt{I/A}$$

2. Untuk Kolom yang tidak dapat bergoyang (Pasal 10.10.1b)

$$\frac{k \cdot \ell_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

Dimana  $M_1 / M_2$  (kNm) adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda.

dengan :

- k = faktor panjang efektif kolom
- $\ell_u$  = panjang bersih kolom, m
- r = radius girasi atau jari-jari inersia penampang kolom, m
- = 0,3.h (jika kolom berbentuk persegi)
- = 0,25 x diameter kolom (jika kolom berbentuk bulat)

I dan A = momen inersia dan luas penampang kolom, m<sup>4</sup> dan m<sup>2</sup>

### Faktor Panjang Efektif Kolom (k)

Faktor panjang efektif kolom (k) ini sangat dipengaruhi oleh derajat hambatan pada ujung-ujung kolom ( $\psi$ ). Derajat hambatan  $\psi$  dirumuskan sebagai berikut (pasal 10.10.7.2):

$$\psi = \frac{\sum \left\{ \frac{E \cdot I_c}{\ell_c} \right\}}{\sum \left\{ \frac{E \cdot I}{\ell} \right\}}$$

Jika ujung kolom berupa :

- Jepit, maka nilai  $\psi = 0$
- Sendi, maka nilai  $\psi = 10$
- Bebas, maka nilai  $\psi = \infty$

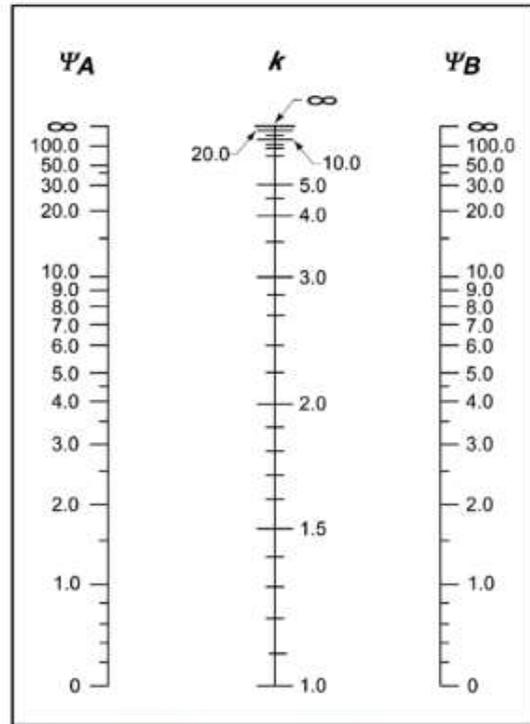
dengan :

- $\Psi$  = derajat hambatan pada ujung kolom
- E = modulus elastis beton =  $4700 \sqrt{f'c}$ , MPa
- I = momen inersia, mm<sup>4</sup>
- $\ell_c$  = panjang bersih kolom, mm
- $\ell$  = panjang bersih balok, mm

Nilai k ini dibedakan 2 macam, yaitu untuk jenis kolom yang tidak dapat bergoyang dan jenis kolom yang dapat bergoyang.

1. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang nilai k, boleh diambil sebesar 1,0 (pasal 10.10.6.3)
2. Untuk kolom yang dapat bergoyang nilai k, harus ditentukan menggunakan nilai E dan

I dan tidak boleh kurang dari 1,0 (pasal 10.10.7.2)



Gambar 2. Faktor panjang efektif kolom (k)

### Pembesaran Momen

Untuk menghindari bahaya tekuk pada kolom langsing atau kolom panjang, maka dalam perencanaan tulangan longitudinal dilaksanakan dengan cara memperbesar momen rencana kolom. Pembesaran momen dilaksanakan dengan memberikan faktor pembesaran momen ( $\delta_b$  atau  $\delta_s$ ) pada momen terfaktor ( $M_u$ ), sehingga berubah menjadi momen terfaktor yang diperbesar ( $M_c$ ). nilai momen  $M_c$  dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

1. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang (pasal 10.10.6)

$$M_c = \delta_b \cdot M_u$$

2. Untuk kolom yang dapat bergoyang (pasal 10.10.7) : Momen  $M_1$  dan  $M_2$  diujung komponen struktur individu harus diambil sebesar

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

dengan :

$M_c$  = momen terfaktor yang diperbesar, N-mm

$\delta_b / \delta_{ns}$  = faktor pembesar momen untuk rangka yang di tahan terhadap goyangan ke samping, atau faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak dapat bergoyang. *Subscript b* berarti *braced* (dikekang).

$\delta_s$  = faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, atau faktor pembesar momen untuk rangka yang dapat bergoyang. *Subscript s* berarti *sway* (bergoyang).

$M_{2ns} / M_{2b}$  = momen yang besar pada salah satu ujung kolom yang tidak menimbulkan goyangan, N-mm

$M_{1s}$  dan  $M_{2s}$  = momen yang kecil dan yang besar pada salah satu ujung kolom yang menimbulkan goyangan, N-mm

### Faktor Pembesar Momen

Faktor pembesar momen dihitung menurut rumus berikut :

1. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang (pasal 10.10.6)

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \cdot P_c}} \geq 1,0$$

Jika ada beban transversal di antara tumpuannya,  $C_m = 1,0$

Untuk komponen struktur tanpa beban transversal,  $C_m = (0,6 + 0,4 \cdot \frac{M_1}{M_2})$

2. Untuk kolom yang dapat bergoyang (pasal 10.10.7)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \cdot \Sigma P_c}} \geq 1,0$$

dimana,

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

dengan :

$\Sigma P_u$  = jumlah seluruh beban vertical terfaktor yang ada pada suatu tingkat, kN

$\Sigma P_c$  = jumlah seluruh kapasitas tekan kolom yang ada pada suatu tingkat, kN

### Spektrum Respons

Keteraturan (beraturan atau tidak) atau konfigurasi gedung akan sangat mempengaruhi

kinerja gedung sewaktu kena gempa rencana, karena itu struktur gedung dibedakan atas 2 golongan yaitu yang beraturan dan yang tidak berdasarkan konfigurasi denah dan elevasi gedung. Analisa gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisa statik ekuivalen sedangkan yang tidak, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik, sehingga analisisnya dilakukan berdasarkan analisa respons dinamis.

Untuk mengurangi bencana yang diakibatkan oleh gempa diperlukan pemahaman yang lebih baik mengenai perilaku gempa. Pembicaraan masalah gempa tidak terlepas dari spektrum respons (*response Spectrum*). Spektrum respon yang merupakan grafik respon maksimum struktur untuk bermacam-macam frekuensi dapat memudahkan seseorang dalam menganalisa dan mendesain suatu struktur tahan hancur.

### Penentuan simpangan antar lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkatan desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal diijinkan untuk menghitung defleksi didasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan reduksi untuk desain tegangan ijin.

Defleksi pusat massa ditingkat  $x(\delta_x)$  (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan ini ditentukan dengan analisis elastic

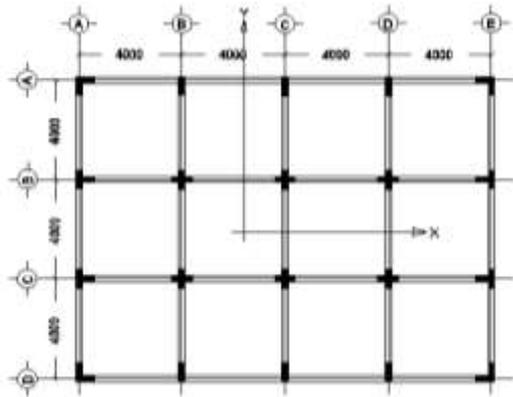
$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan

## METODOLOGI PENELITIAN

### Model Struktur

Struktur gedung ditinjau berfungsi sebagai kantor dan merupakan struktur gedung beraturan.

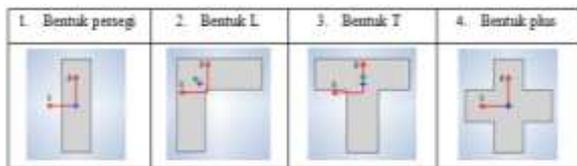
Denah struktur adalah 16m x 12m yang terdiri atas 4 bentang arah sumbu X dan 3 bentang arah sumbu Y dengan tinggi tingkat bervariasi yaitu 3m, 3.2m, 3.5m. tipe konfigurasi pemasangan kolom penampang pipih yang ditinjau seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3. Konfigurasi kolom pipih pada denah

**Model Kolom**

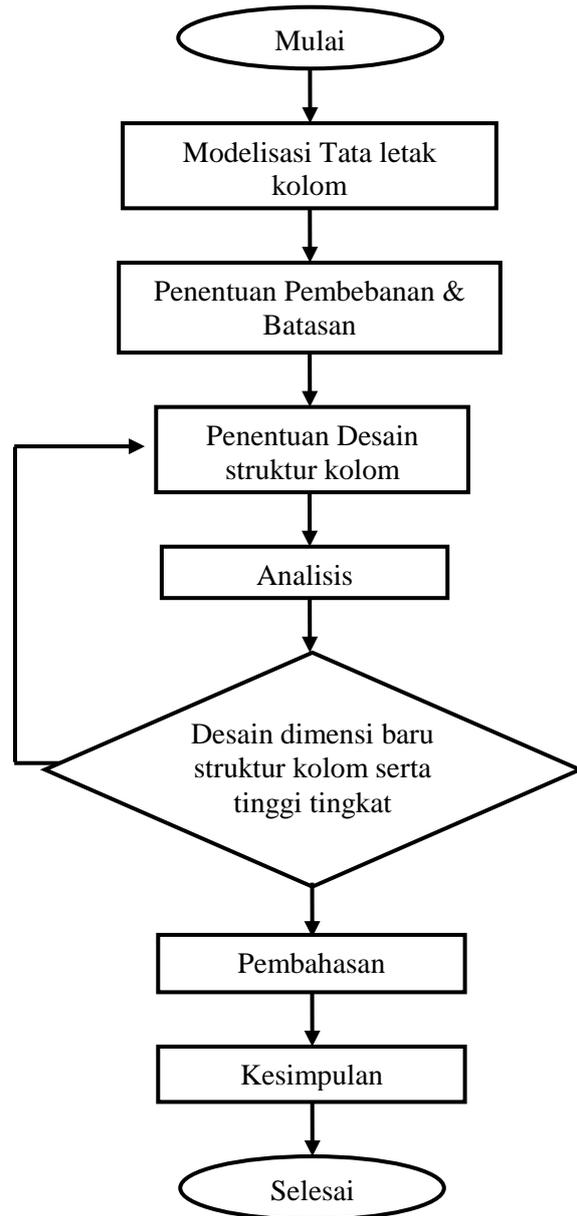
Dalam penelitian ini akan digunakan beberapa model khusus struktur kolomnya untuk mengetahui kemampuan kolom dalam menerima beban maupun pengaruh spektrum respon. Adapun model kolom yang digunakan, yaitu:



Gambar 4. Bentuk-bentuk kolom

**Sistematika Perencanaan**

Langkah-langkah untuk perencanaan akan dijelaskan dalam diagram alir pada gambar 5. berikut :

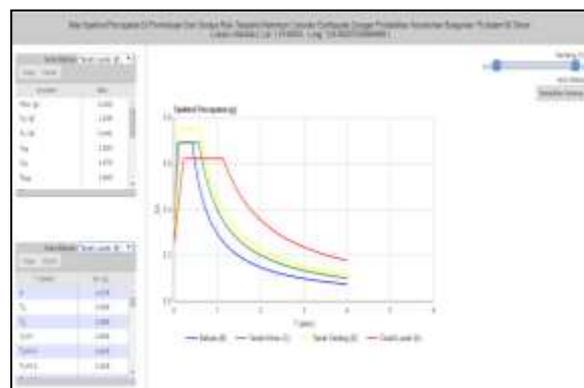


Gambar 5. Diagram alir Perencanaan Struktur

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Perhitungan beban gempa pada struktur ini menggunakan program yang telah disediakan oleh dinas Pekerjaan Umum (PU) :

<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra indonesia 2011/> dengan cara memasukkan jenis input koordinat tempat yang akan ditinjau. Spektra Rencana yang dihasilkan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Respons Spektra kota Manado

**Data Disain**

- Mutu Bahan :  
 Beton  $f'c = 27.58$  MPa (standar mutu bahan dalam software)  
 $E_c = 4700 \times \sqrt{f'c} = 24682.83$  MPa
- Lokasi bangunan : Manado
- Jenis tanah : Lunak
- Kategori gedung : Perkantoran
- Tebal lantai : 120 mm
- Dimensi Balok : 25 x 35 cm
- Beban-beban gravitasi (Tabel 1)

Tabel 1. Beban Gravitasi

Lantai	Beban Hidup (LL)	Beban Mati tambahan (SDL)					
		Plester (2.0cm)	Keramik	ME	Plafond	Water proofing	Jumlah
Gedung kantor	250 kg/m <sup>2</sup>	42 kg/m <sup>2</sup>	24 kg/m <sup>2</sup>	25 kg/m <sup>2</sup>	18 kg/m <sup>2</sup>	-	109 kg/m <sup>2</sup>
Atap	100 kg/m <sup>2</sup>	42 kg/m <sup>2</sup>	-	25 kg/m <sup>2</sup>	18 kg/m <sup>2</sup>	5 kg/m <sup>2</sup>	90 kg/m <sup>2</sup>

- Beban yang bekerja pada balok  
 Beban merata =  $(3 - 0.4) \times 250^*$   
 = 650 kg/m

**Analisis Model Struktur Awal**

Struktur ini merupakan struktur dengan kategori risiko II karena jenis pemanfaatannya gedung perkantoran, dan juga termasuk pada desain seismik D karena nilai  $S_{DS} (0.61) \geq 0.50$  dan nilai  $S_{D1} (0.707) \geq 0.20$ . Pada model struktur awal ini telah dilakukan analisis struktur dengan menggunakan software ETABS sehingga dihasilkan output berupa estimasi dimensi dan tinggi tingkat yang optimal, serta simpangan antar lantai arah X dan arah Y, model awal ini dibuat dengan tiga tebal yang berbeda yaitu 15cm, 20cm, dan 25cm yang masing-masing perbandingan arah panjang terhadap lebar kolomnya sama dengan 3 ( $h/b = 3$ ). hasil tersebut menjadi acuan untuk membuat variasi dimensi kolom yang lain, yang akan menjadi model pembanding.

Pada analisis ini tinggi optimal yang dimaksud adalah keadaan dimana balok maupun kolom belum mencapai gaya geser maksimum yang diizinkan.

**Tebal dinding 15cm**

Tabel 2. Optimal tinggi lantai

Dimensi	Tinggi antar tingkat		
	3m	3.2m	3.5m
15x45cm	2	2	2

Sesuai dengan SNI 03-1726-2012 yang memberi syarat, simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) tidak boleh lebih besar dari :

$$\Delta \leq \Delta_a / \rho, \text{ dimana } \rho = 1.3$$

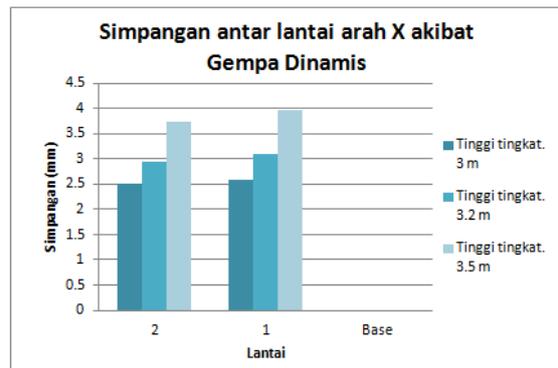
- Untuk tinggi antar lantai 3.0m  
 syaratnya,  $\Delta \leq 21 / 1.3 = 16.15$  mm
- Untuk tinggi antar lantai 3.2m  
 syaratnya,  $\Delta \leq 22.4 / 1.3 = 17.23$  mm
- Untuk tinggi antar lantai 3.5m  
 syaratnya,  $\Delta \leq 24.5 / 1.3 = 18.85$  mm

Tabel 3. Simpangan max antar lantai arah X

Lantai	Tinggi antar tingkat 3.0m			Tinggi antar tingkat 3.2m			Tinggi antar tingkat 3.5m		
	$\Delta$ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	$\Delta$ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	$\Delta$ (mm)	Syarat (mm)	Ket.
2	2.50	16.15	Ok	2.97	17.23	Ok	3.73	18.85	Ok
1	2.38	16.15	Ok	3.09	17.23	Ok	3.97	18.85	Ok
Base	0	16.15	Ok	0	17.23	Ok	0	18.85	Ok

Tabel 4. Simpangan max antar lantai arah Y

Lantai	Tinggi antar tingkat 3.0m			Tinggi antar tingkat 3.2m			Tinggi antar tingkat 3.5m		
	$\Delta$ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	$\Delta$ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	$\Delta$ (mm)	Syarat (mm)	Ket.
2	1.9258	16.15	Ok	2.2743	17.23	Ok	2.8699	18.85	Ok
1	2.0940	16.15	Ok	2.5666	17.23	Ok	3.2729	18.85	Ok
Base	0	16.15	Ok	0	17.23	Ok	0	18.85	Ok



Gambar 7. Grafik perbandingan simpangan max antar lantai semua tinggi antar tingkat arah X



Gambar 8. Grafik perbandingan simpangan max antar lantai semua tinggi antar tingkat arah Y

Pada grafik perbandingan diatas (Gambar 7 dan 8) terlihat bahwa pada variasi tinggi tingkat simpangan maksimum antar lantai yang terjadi berfluktuasi, dimana tinggi tingkat 3.5m yang memiliki simpangan antar lantai yang terbesar.

**Tebal dinding 20cm**

Tabel 5. Optimal tinggi lantai

Dimensi	Tinggi antar tingkat		
	3m	3.2m	3.5m
20x60cm	3	3	2

Tabel 6. Simpangan max antar lantai arah X

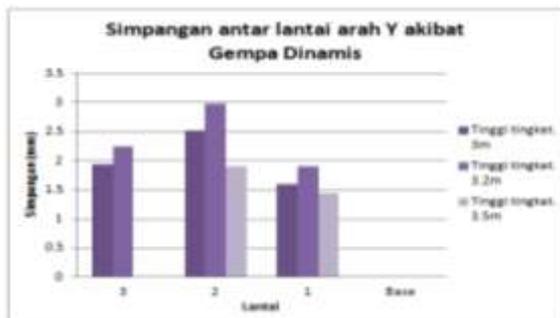
Lantai	Tinggi antar tingkat 3.0m			Tinggi antar tingkat 3.2m			Tinggi antar tingkat 3.5m		
	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.
3	2.37	16.15	Ok	2.37	17.23	Ok	2.38	18.85	Ok
2	3.09	16.15	Ok	3.38	17.23	Ok	2.38	18.85	Ok
1	1.91	16.15	Ok	2.28	17.23	Ok	1.74	18.85	Ok
Base	0	16.15	Ok	0	17.23	Ok	0	18.85	Ok

Tabel 7. Simpangan max antar lantai arah Y

Lantai	Tinggi antar tingkat 3.0m			Tinggi antar tingkat 3.2m			Tinggi antar tingkat 3.5m		
	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.
3	1.93	16.15	Ok	2.22	17.23	Ok	1.91	18.85	Ok
2	2.33	16.15	Ok	2.88	17.23	Ok	1.91	18.85	Ok
1	1.61	16.15	Ok	1.91	17.23	Ok	1.43	18.85	Ok
Base	0	16.15	Ok	0	17.23	Ok	0	18.85	Ok



Gambar 9. Grafik perbandingan simpangan max antar lantai semua tinggi antar tingkat arah X



Gambar 10. Grafik perbandingan simpangan max antar lantai semua tinggi antar tingkat arah Y

Pada grafik perbandingan diatas (Gambar 9 dan 10) terlihat bahwa pada variasi tinggi tingkat simpangan yang terjadi juga berfluktuasi. Berbeda pada tinggi tingkat 3m dan 3.2m, pada tinggi tingkat 3.5m dimana optimal tinggi lantai hanya 2 lantai sehingga pada grafik perbandingan pada lantai 3 simpangan antar lantai tidak ada.

**Tebal dinding 25cm**

Tabel 8 optimal tinggi lantai

Dimensi	Tinggi antar tingkat		
	3m	3.2m	3.5m
25x75cm	3	3	3

Tabel 9. Simpangan max antar lantai arah X

Lantai	Tinggi antar tingkat 3.0m			Tinggi antar tingkat 3.2m			Tinggi antar tingkat 3.5m		
	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.
3	2.00	16.15	Ok	2.35	17.23	Ok	2.94	18.85	Ok
2	2.38	16.15	Ok	2.84	17.23	Ok	3.61	18.85	Ok
1	1.34	16.15	Ok	1.61	17.23	Ok	2.07	18.85	Ok
Base	0	16.15	Ok	0	17.23	Ok	0	18.85	Ok

Tabel 10. Simpangan max antar lantai arah Y

Lantai	Tinggi antar tingkat 3.0m			Tinggi antar tingkat 3.2m			Tinggi antar tingkat 3.5m		
	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.	Δ (mm)	Syarat (mm)	Ket.
3	1.73	16.15	Ok	2.02	17.23	Ok	2.51	18.85	Ok
2	2.09	16.15	Ok	2.47	17.23	Ok	3.14	18.85	Ok
1	1.17	16.15	Ok	1.40	17.23	Ok	1.79	18.85	Ok
Base	0	16.15	Ok	0	17.23	Ok	0	18.85	Ok



Gambar 11. Grafik perbandingan simpangan max antar lantai semua tinggi antar tingkat arah X



Gambar 12. Grafik perbandingan simpangan max antar lantai semua tinggi antar tingkat arah Y

Pada grafik perbandingan diatas (Gambar 11 dan 12) terlihat bahwa pada variasi tinggi tingkat simpangan maksimum antar lantai yang terjadi masih tetap berfluktuasi, dimana tinggi tingkat 3.5m yang memiliki simpangan antar lantai yang terbesar.

**Analisis Struktur kolom**

Analisis struktur kolom ini dilakukan untuk melihat perilaku kolom akibat menahan beban horizontal. Pada analisis ini hasil perhitungan gaya-gaya didapat dari output software ETABS seperti pada gambar dibawah.



Gambar 13. Output ETABS

Dari data pada Gambar 13. diatas diambil (akibat beban kombinasi 12) :

- Pu = 223,023 kN
- Mu1 = 7.2939 kN-m
- Mu2 = 44.7338 kN-m

❖ **Perhitungan kekakuan :**

- Inersia penampang utuh kolom :
- $I_k = 0,70 \cdot 1/12 \cdot 0,2 \cdot 0,6^3 = 2,52 \times 10^{-3} \text{ m}^4$
- Panjang bersih kolom :
- $L_k = 3,5 - 0,35/2 = 3,325 \text{ m}$
- Inersia penampang utuh balok :
- $I_b = 0,35 \cdot 1/12 \cdot 0,25 \cdot 0,35^3 = 3,126 \times 10^{-4} \text{ m}^4$
- Panjang bersih balok :
- $L_b = 4 - 0,2 = 3,8 \text{ m}$

- Momen :  $1,3 M_D = 4,34 \text{ kN-m}$
- Momen :  $1,3 M_D + 1 M_L + 1,3 M_{SDL} + 1 M_{Rsy} = 44,7338 \text{ kN-m}$

Jadi :

$$\beta_d = \frac{1,3 M_D}{1,3 M_D + 1 M_L + 1,3 M_{SDL} + 1 M_{Rsy}} = \frac{4,34}{44,7338} = 0,1$$

❖ **Menentukan panjang tekuk kolom**

Dianggap portal bergoyang

Kolom bagian bawah  $\rightarrow \Psi_B = 0 \rightarrow$  karena perletakan ujung jepit

Kolom bagian atas

$$\psi_A = \frac{\sum \left\{ \frac{E \cdot I_k}{\ell_k} \right\}}{\sum \left\{ \frac{E \cdot I}{\ell} \right\}} = \frac{E \left( \frac{2,52 \times 10^{-3}}{3,325} \right)}{E \left( \frac{3,126 \times 10^{-4}}{3,8} \right)} = 9,21$$

$$\psi_m = \frac{\psi_A + \psi_B}{2} = \frac{9,21}{2} = 4,605$$

Karena  $\Psi_m > 2$  maka dipakai rumus k sebagai berikut :

$$k = 0,9 \cdot \sqrt{1 + \Psi_m} = 0,9 \cdot \sqrt{1 + 4,605} = 2,13$$

Jadi panjang tekuk kolom

$$k_c = k \times L_k = 2,13 \times 3,325 = 7,08 \text{ m}$$

❖ **Check terhadap faktor kelangsingan**

Nilai r untuk kolom adalah

$$r = \sqrt{\frac{b x h^3 / 12}{b x h}} = 0,289 \times h = 0,289 \times 0,6 = 0,173 \text{ m}$$

$$\frac{k x L_n}{r} < 22 = \frac{2,13 \times 3,325}{0,173} = 40,93 > 22 \rightarrow \text{tidak ok}$$

Karena,  $40,93 > 22 \rightarrow$  faktor kelangsingan diperhitungkan

❖ **Perhitungan pembesaran momen**

$$I_g = 1/12 \times 0,2 \times 0,6^3 = 3,6 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'c} = 24682,83 \text{ MPa} \rightarrow 24682,83 \text{ N/mm}^2 = 24682830 \text{ kN/m}^2$$

$$EI_{kolom} = \frac{0,4 E_c I_g}{(1 + \beta_d)} = \frac{0,4 \times (24682830) \times (3,6 \times 10^{-3})}{(1 + 0,1)} = 32312,07 \text{ kN/m}^2$$

Beban kritis,

$$P_c = \frac{\pi^2 x EI}{(k + L_k)^2} = \frac{3,14^2 \times 32312,07}{(2,13 \times 3,325)^2} = 6351,58 \text{ kN}$$

Faktor pembesaran momen

$$C_m = 0,6 + 0,4 \cdot \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 \rightarrow 0,6 + 0,4 \cdot \frac{7,2939}{44,7338} \geq 0,4 \rightarrow 1 \geq 0,4 \rightarrow OK!$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} \geq 1,0$$

$$\rightarrow \frac{1}{1 - \frac{223.023}{0.75 \times 6351,58}} \geq 1,0$$

$$\rightarrow 1,05 \geq 1,0 \rightarrow oK!$$

$$M_{2min} = Pu \cdot (15,24 + 0,03 \cdot h) = 13,49 \cdot$$

$$(0,015 + 0,03 \cdot 0,6) = 7,360 \text{ kN-m}$$

$$\text{Momen terfaktor, } M_c = \delta_{ns} \cdot M_2 = 1,05 \cdot$$

$$44,7338 = 46,97 \text{ kN-m}$$

$$\text{Check } \rightarrow M_c \geq M_{2min}, \text{ momen nominal } \rightarrow$$

$$44,87 > 10,52 \text{ kN-m } \rightarrow oK!$$

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur yang telah dilakukan. Dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Dari semua ketebalan dinding yang telah dicoba, tebal dinding 15cm merupakan tebal dengan tinggi optimal lantai yang kecil sedangkan pada tebal 25cm mempunyai tinggi optimal lantai yang dihasilkan besar, namun dari beberapa pertimbangan tebal 20cm dianggap sebagai pilihan yang ekonomis.
- Hasil analisis model baik model awal maupun model pembandingan menunjukkan bahwa semakin besar dimensi kolom baik

arah lebar maupun panjang semakin kecil nilai simpangan antar lantai yang terjadi, namun berbanding terbalik dengan tinggi antar tingkatnya, dimana semakin besar tinggi antar tingkatnya semakin besar pula nilai simpangan antar lantainya.

- Pada hasil analisis struktur kolom, jenis kolom termasuk kolom panjang atau kolom langsing terlihat dari rasio kelangsingannya ( $40,93 > 22$ ) dengan keadaan bergoyang dan kolom mengalami perilaku tertekuk.

### Saran

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

- Dalam modelisasi struktur sebagai pembandingan dapat dibuat lebih banyak variasi, seperti variasi pada model denah maupun variasi tata letak kolom pipih itu sendiri.
- Ketelitian dalam menggunakan software ETABS agar lebih di tingkatkan dan diperhatikan supaya dapat menghasilkan analisis struktur yang sesuai.
- Dalam analisis model ini yang digunakan hanya metode analisa dinamik respon spektrum saja, untuk lebih lanjut dapat mempertimbangkan metode analisis dinamik riwayat waktu sebagai pembandingan dari analisis ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aroni, Ali., 2010. *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional., 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan gedung SNI 03-2847-2013*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia
- Dipohusodo, I., 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Departemen Pekerjaan Umum., 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan penerbit PU.
- Gurki, J.Thambah Sembiring., 2010. *Beton bertulang (edisi revisi)*. Bandung: Rekayasa Sains.
- MacGregor, J. G., 1997. *Reinforced Concrete Mechanics and Design (3rd Edition ed)*. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River. New Jersey.
- Nawy, E.G., 2008. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika Aditama.

Purwono, R., 2005. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: ITS Press.

Schodek, Daniel L., 1999. *Struktur Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.