

## ANALISA EFEK P-DELTA PADA KOLOM STRUKTUR LIMA BELAS LANTAI AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN HELIPAD

**Nono Suhana\*)**

\*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Wiralodra – Indramayu

**Oscar Lando Pello\*\*)**

\*\*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil  
Sekolah Teknologi Mandala – Bandung

### ABSTRAK

Analisis struktur merupakan bagaian salah satu proses yang sangat menentukan dan terpenting dalam perencanaan. Untuk mendapatkan analisa akurat diperlukan pendekatan matematis yang mencerminkan kondisi struktur dan serta kondisi beban sebenarnya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek P-Delta pada kolom struktur lima belas lantai yang mengalami pembebanan arah vertikal berupa beban mati dari berat struktur itu sendiri, beban helipad dan beban hidup serta beban horizontal/ lateral akibat beban gempa. Karena perhitungan P\_Delta cukup rumit dan kompleks maka analisa dibantu dengan perangkat lunak atau software ETABS versi 9.0 untuk meminimalisir kesalahan dalam perhitungan.

Hasil analisa menunjukkan pembesaran momen dan kenaikan simpangan pada kolom struktur apabila perhitungan P-Delta disertakan. Pembesaran momen maksimum yaitu 83,44% dan minimum 3,12%. Kenaikan momen rata-rata kolom tepi adalah 27,12%, 19,45% dan 23,12%. Untuk kolom tengah peningkatan simpangan pada arah x dengan rata-rata 21,71%, arah y 23,40% dan arah z sebesar 13,47%. Selain itu hasil simpangan antara tingkat yang ditinjau berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimate menunjukkan nilai kerja batas layan arah x antara 31,33 mm sampai dengan 567 mm dan arah y yaitu 11mm sampai dengan 703 mm, sedangkan kinerja batas ultimate arah x nilainya 1,4 mm sampai dengan 68,81mm dan arah y yaitu 1,52 mm sampai dengan 80,64 mm.

Berdasarkan pada peningkatan momen dan simpangan yang terjadi dikolom struktur maka dapat disimpulkan bahwa efek P-Delta harus dimasukkan dalam perhitungan struktur.

Keyword : *P-Delta, pembesaran momen, simpangan struktur*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia termasuk daerah dengan tingkat resiko akibat gempa yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena wilayah Indonesia berada di antara empat sistem tektonik yang aktif yakni batas lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik. Gempa dengan magnitude 5 atau lebih pada skala richter sering terjadi.

Bidang ilmu teknik sipil yang salah satu bagiannya yakni perencanaan struktur bangunan tentu saja menyikapi fenomena ini dengan melakukan riset dan perancangan struktur tahan gempa, dalam arti bahwa kerusakan (keruntuhan)

struktur dapat terjadi tetapi tidak membahayakan atau menelan korban jiwa. Oleh karena itu beban gempa menjadi hal yang harus dimasukkan dalam perencanaan struktur.

Beban gempa yang dimasukkan dalam perhitungan ini adalah beban gempa rencana yang mana nilai beban gempa peluang dilampaui dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10 % atau nilai beban gempa yang perioda ulangnya 500 tahun.

Untuk struktur bangunan gedung dengan ketinggian lebih dari 10 lantai atau 40 m pengaruh P-Delta harus diperhitungkan. P-Delta itu sendiri merupakan suatu gejala yang terjadi pada struktur bangunan gedung yang fleksibel dimana simpangan lateral akibat beban gempa

menimbulkan beban tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang kesamping.

### 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan dalam latar belakang penelitian maka permasalahan yang dapat penyusun ingin mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan oleh efek P-Delta ( $\Delta$ ) terhadap struktur secara keseluruhan dalam hal ini pengaruhnya terhadap kolom struktur dan akibat getaran yang ditimbulkan oleh beban gempa dan landing force atau beban kejut oleh helikopter.

Untuk mempersempit lingkup permasalahan maka penelitian difokuskan pada momen akhir dan lendutan kolom struktur akibat efek P-Delta struktur lima belas lantai yang mempunyai tempat pendaratan helikopter atau helipad pad atap.

### 1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya pengaruh yang terjadi terhadap kolom struktur apabila efek P-Delta dimasukkan dalam perhitungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar kenaikan atau penurunan momen dan lendutan pada kolom struktur apabila efek P-Delta dimasukkan atau tidak dimasukkan dalam perhitungan

### 1.4 Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan untuk memberikan pemahaman kepada kita tentang besarnya pengaruh P-Delta terhadap stabilitas struktur bangunan bertingkat sehingga efek P-Delta perlu diperhitungkan dalam perencanaan struktur. Selain itu penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kepada mahasiswa jurusan teknik sipil tentang cara menghitung dan mendesain struktur bangunan dengan benar menggunakan program ETABS. Penelitian ini juga berguna bagi konsultan proyek maupun pemilik proyek untuk mengetahui apakah desain struktur sudah memenuhi standar keamanan yang disyaratkan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Tinjauan dasar dalam perencanaan (desain) struktur adalah dengan menjamin adanya kestabilan pada segala kondisi pembebanan yang mungkin terjadi pada struktur tersebut. Pembebanan pada struktur akan menyebabkan perubahan bentuk (deformasi) dari struktur itu sendiri. Pada struktur yang stabil deformasi yang terjadi akibat adanya pembebanan pada umumnya relatif kecil dan gaya internal yang timbul di dalam struktur cenderung mengembalikan struktur ke dalam bentuk semula apabila bebannya dihilangkan atau tidak bekerja. Struktur yang tidak stabil deformasi akibat pembebanan cenderung tidak mampu mengembalikan struktur ke dalam bentuk semula karena gaya internal yang bekerja lebih kecil dari beban yang harus dipikul oleh struktur. Kondisi ini memungkinkan struktur mengalami keruntuhan (collapse) secara menyeluruh apabila mengalami pembebanan.

### 1.2. Teori Pembebanan

Beban dinamis yaitu beban yang bekerja secara tiba-tiba pada daerah struktur, pada umumnya tidak bersifat steady state dan mempunyai karakteristik yang besar serta lokasinya bisa berubah-ubah dengan cepat dan akan mengalami deformasi yang akan berubah dengan cepat pula tetapi tidak akan selalu terjadi secara bersamaan dengan gaya terbesarnya. Yang termasuk gaya dinamis yaitu beban akibat pengaruh alam.

#### 2.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang intensitasnya tetap dan posisinya tidak berubah selama usia penggunaan bangunan. Biasanya beban mati merupakan berat sendiri dari suatu bangunan yang dikelompokkan menjadi dua bagian yakni bahan bangunan dan komponen gedung, sehingga besarnya dapat dihitung secara akurat berdasarkan ukuran, bentuk, dan berat jenis materialnya. Jadi, berat dinding, lantai, balok-balok, langit-langit, dan sebagainya dianggap sebagai beban mati bangunan. Beban mati berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1989.

#### 2.2.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang dapat berpindah tempat, dapat bekerja penuh atau tidak ada sama sekali. Contoh dari beban ini misalnya beban hunian, lalu lintas orang, serta lalu lintas

kendaraan (pada jembatan atau tempat parkir). Beban hidup minimum yang harus diterapkan pada bangunan biasanya telah ditetapkan dalam peraturan setempat yang berlaku. Untuk beban hidup terdiri dari dua arah, yaitu beban hidup arah vertikal dan beban hidup arah horizontal.

**2.2.3 Beban Hidup Pada Atap yang Dilengkapi Helipad**

Struktur landasan beserta struktur pemikulnya harus direncanakan berdasar pada beban yang berasal dari helikopter itu sendiri pada waktu mengangkasa dan mendarat serta pada kondisi khusus yaitu apabila terjadi pendaratan yang keras (hard landing) karena mesin mati sewaktu melandas (hovering). Beban-beban helikopter dikerjakan pada landasan melalui tumpuan-tumpuan pendarat. Helikopter ukuran kecil sampai sedang pada umumnya memiliki tumpuan pendarat jenis palang (skid type) atau jenis bantalan (float type).



Gambar 2.1 Heli dengan Type Pendarat Jenis Palang

Sedangkan heli ukuran besar umumnya memiliki tumpuan pendarat jenis roda seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Heli dengan type pendarat Jenis Roda

Tumpuan pendarat dapat terdiri dari dua buah tumpuan utama di samping,sebuah tumpuan belakang atau atau sebuah tumpuan depan

Distribusi beban pada helikopter yakni masing-masing tumpuan pendarat meneruskan bagian tertentu dari berat bruto heli tersebut bergantung dari jenis heli dan jenis tumpuan pendarat. Pada heli yang memiliki tumpuan pendarat utama,masing-masing tumpuan meneruskan 40 %-45 % dari berat bruto helikopter. Dalam perencanaan struktur landasan dan struktur pemikulnya diasumsikan bahwa kedua tumpuan pendarat secara serempak membebani landasan. Untuk memperhitungkan beban kejut pada kasus hard landing akibat mesin mati maka beban bruto dari heli tersebut dikalikan dengan koefisien kejut sebesar 1,5.

**2.2.4 Beban Angin**

Pergerakan udara ada 2 macam yaitu pergerakan horizontal dan vertikal, dikarenakan pergerakan horizontal yang banyak mempengaruhi pada struktur sehingga penting dianalisis untuk perencanaan struktur bangunan. Apabila tekanan atau tiupan angin diperhitungkan untuk kondisi terbesarnya.

$$P = V^2 / 16 \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

P : Gaya (kg/m<sup>2</sup>)

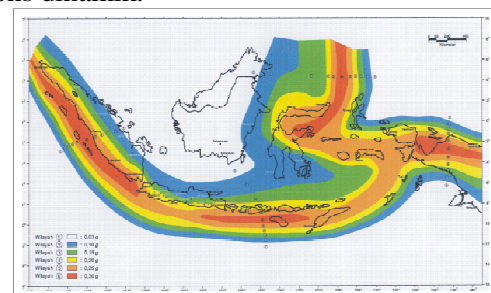
V : Kecepatan Angin (m/det)

Apabila angin yang diperoleh dikalikan dengan faktor bentuk bangunan, untuk bangunan persegi dikalikan 1,30.

**2.3 Gaya Gempa**

Untuk analisis gempa pada bangunan gedung ada dua macam metode yang bisa digunakan, yaitu analisis gempa ditinjau secara statik ekuivalen dan analisis gempa secara dinamik.

Untuk gedung yang tingginya lebih dari 10 lantai atau 40 meter dengan bentuk yang tidak beraturan pengaruh gempa renana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, maka analisis yang digunakan adalah analisis respons dinamik.



Gambar 2.1 Wilayah-wilayah Gempa untuk Indonesia

**2.3.1 Gaya Geser Dasar Nominal Akibat Gempa**

Besarnya beban gempa rencana (V) menurut peraturan perencanaan tahan gempa Indonesia untuk gedung, SNI 1726 tahun 2002 dirumuskan sebagai berikut :

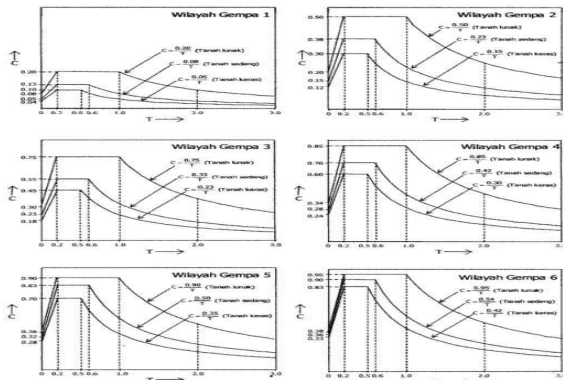
$$V = \frac{CI}{R} W_t \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

- C : Koefisien gempa dasar, yang bergantung pada pembagian zona gempa di Indonesia.
- I : Faktor keutamaan struktur, bergantung pada jenis gedung.
- R : Faktor reduksi gempa maksimum
- Wt : Kombinasi dari beban mati seluruhnya dan bekerja di atas taraf penjepitan lateral (pondasi).

**2.3.2 Koefisien Gempa Dasar (C)**

Koefisien gempa dasar berfungsi untuk menjamin agar struktur mampu memikul beban gempa yang dapat menyebabkan kerusakan besar pada struktur. Koefisien C bergantung pada frekuensi terjadinya gerakan tanah yang bersifat sangat merusak yang berbeda pada setiap wilayah gempa, waktu getar alami struktur dan kondisi tanah setempat. Besarnya koefisien gempa dasar dapat dilihat pada gambar yang tercantum di bawah ini.



Gambar 2.3 Koefisien Gempa Dasar

**2.3.4 Faktor Keutamaan**

Tingkat kepentingan suatu struktur terhadap bahaya gempa berbeda-beda bergantung fungsinya. Nilai I yang lebih besar dari 1 (satu) dipakai untuk struktur yang cukup penting agar struktur tersebut tetap berfungsi setelah gempa besar terjadi. Faktor keutamaan untuk berbagai

jenis gedung tersebut terdapat pada Tabel 2.1 berikut ini :

**Tabel 2.1 Faktor Keutamaan ( I )**

Kategori Gedung atau Bangunan	Faktor Keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I
Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0

**2.3.5 Daktilitas Struktur**

Daktilitas struktur gedung adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama. Parameter daktilitas struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

**Tabel.2.2 Daktilitas Struktur**

Taraf Kinerja Struktur Gedung	μ	R
Elastik Penuh	1,0	1,6
Daktail Parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
Daktail Penuh	5,3	8,5

Untuk jenis sistem dan sub sistem struktur parameter daktilitasnya mengacu pada Tabel 2.3

**Tabel.2.3 Sistem dan Sub Sistem Struktur**

Sistem dan Sub Sistem Struktur Gedung	Uraian Sistem Pemikul Beban Gempa	μ <sub>m</sub>	R <sub>m</sub>	F
Sistem rangka pemikul momen (sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap .Beban lateral dipikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1.Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2.Rangka Pemikul Momen Menengah Beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3.Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4.Rangka Batang Baja Pemikul Momen Khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8

Untuk keperluan analisa pendahuluan struktur dan pendimensian pendahuluan dari unsur-unsurnya, waktu getar gedung  $T$  dalam detik dapat ditentukan dengan rumus-rumus pendekatan seperti berikut ini :

- a) Untuk struktur-struktur portal tanpa unsur-unsur kaku yang membatasi simpangan :
  - $T = 0,0853 H^{3/4}$  untuk portal baja
  - $T = 0,0731 H^{3/4}$  untuk portal beton
- b) Untuk struktur-struktur lain :
  - $T = 0,0488$

**2.3.6 Distribusi Gaya Geser pada Setiap Tingkat**

Masing-masing tingkat gedung memiliki beban geser dasar akibat gempa sendiri-sendiri sesuai tingkat lantainya, untuk menghitung beban geser masing-masing tingkat dirumuskan dengan :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

- $F_i$  : Beban horizontal terpusat yang bekerja pada masing-masing tingkat lantai. Beban ini diperoleh dari beban geser dasar akibat gempa ( $V$ ) yang didistribusikan sepanjang tinggi gedung.
- $W_i$  : Bagian dari seluruh beban vertikal yang disumbangkan oleh beban-beban vertikal yang bekerja pada tingkat  $i$  (dalam kg) pada peninjauan gempa.
- $h_i$  : Ketinggian sampai tingkat  $i$  yang diukur dari tinggi penjepitan lateral (atas pondasi).
- $V$  : Beban geser dasar akibat gempa.

Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian gaya geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung. Pada analisis ragam spektrum respons, sebagai spektrum percepatan respons gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar ( $C$ ) untuk wilayah masing-masing gempa.

**2.4 Faktor Pembebanan**

Kuat rencana (design strength) dapat diperoleh dengan mengalikan kekuatan nominal dengan reduksi kekuatan yang lebih besar dari satu. Kekuatan nominal dengan reduksi diperoleh dengan meninjau kekuatan teoritis bahan yang dipakai sepenuhnya.

Berdasarkan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI

03-1726-2002), provisi keamanan dapat dibagi dua yaitu : Provisi Faktor Beban atau Kuat Perlu dan Provisi Faktor Reduksi Kekuatan.

**2.4.1 Provisi Faktor Beban**

Provisi faktor beban yang bertujuan untuk mengantisipasi kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi waktu menganalisis pembebanan.

- a) Kuat Perlu  $U$  untuk menahan beban mati paling tidak sama dengan
  - $U = 1,4 D \dots\dots\dots 2.4$
  - $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots 2.5$
- b) Bila beban angin diperhitungkan  $W$ , maka persamaan kombinasi beban seperti berikut :
  - $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots 2.6$
  - $U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots 2.7$
- c) Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa  $E$  turut pula diperhitungkan, maka digunakan persamaan berikut :
  - $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \dots\dots\dots 2.8$
 Faktor beban  $L$  boleh direduksi menjadi  $0,5$   
 Atau  
 $U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots 2.9$

**2.4.2 Provisi Faktor Reduksi Kekuatan**

Provisi faktor reduksi  $\phi$  kekuatan yang bertujuan untuk mengantisipasi kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi pada waktu pelaksanaan dilapangan

- a) Provisi faktor reduksi kekuatan untuk lentur tanpa beban aksial .....0,80
- b) Provisi faktor reduksi kekuatan untuk beban aksial dan beban aksial dengan lentur. (untuk beban aksial dengan lentur, kedua nilai kuat nominal dari beban aksial dan momen harus dikalikan dengan nilai  $\phi$  tunggal yang sesuai :
  - Aksial tarik dengan lentur .....0,60
  - Aksial tekan dan tekan dengan lentur:
    - Komponen struktur tulangan spiral ....0,70
    - Komponen struktur lainnya .....0,65
  - Geser dan torsi .....0,75

**2.5 Persamaan Gerak**

Persamaan dasar diuraikan sebagai berikut :

Persamaan gerak kedua dari Newton :

$$F = m \cdot a$$

Pada suatu system yang bergetar gaya pegas adalah :

$$F = -k \cdot x$$

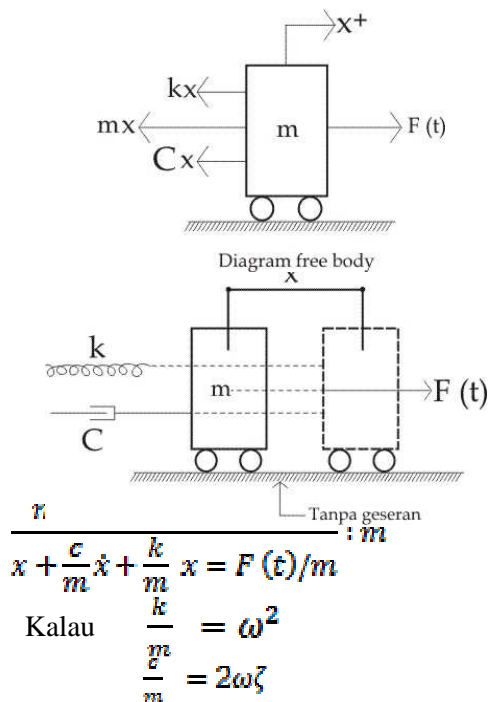
$$-kx = m \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

b.Prinsip d'Alembert (keseimbangan)

$$F = kx$$

$$kx = -m \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

**2.5.1 Persamaan Gerak Single Degree of Freedom System (SDOF)**



Response total yang merupakan jumlah pemecahan umum dan pemecahan khusus menjadi:

$$\frac{1}{m\omega_D} \int_0^t F(\tau) e^{-\zeta\omega_D(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau$$

.....2.10

**2.5.2 Persamaan Gerak Multi Degree of Freedom System (MDOF)**

Derajat kebebasan suatu sistem susunan massa merupakan jumlah dari derajat kebebasan massa.Pada umumnya massa dari struktur bangunan tertentu bila memungkinkan dapat dipusatkan pada tempat-tempat tertentu (lumped mass). Akan tetapi seringkali dijumpai keadaan struktur yang tidak dapat dipusatkan karena pembagian massanya merata setinggi struktur (generalized mass). Dalam MDOF akan diuraikan persamaan gerak untuk lumped mass sistem dimana titik-titik massa akan terjadi perpindahan  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(t)$ , .. $x_n(t)$ .Persamaan gerak sistem MDOF dapat disusun

berdasarkan masing-masing unsur dinamis fli ,fDi,fSi, Fi (t)

$$fI1 + fD1 + fS1 = F1(t)$$

$$fI2 + fD2 + fS2 = F2(t)$$

$$fIn + fDn + fSn = Fn(t)$$

persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\{fI\} + \{fD\} + \{fS\} = \{F(t)\} \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana besaran dari gaya-gaya tersebut dijabarkan sebagai berikut :

$$\{fS\} = [K] \cdot \{x\} \dots\dots\dots 2.12$$

analog untuk fD dan fI :

$$\{fD\} = [C] \cdot \{\dot{x}\} \dots\dots\dots 2.13$$

$$\{fI\} = [M] \cdot \{\ddot{x}\} \dots\dots\dots 2.37$$

.....2.37

Tiga persamaan diatas disubstitusikan ke dalam persamaan (2.27) menjadi :

$$[M] \{\ddot{x}\} + [C] \{\dot{x}\} + [K] \{x\} = \{F(t)\} \dots\dots\dots 2.38$$

Pada sistem SDOF response dinamis dipengaruhi oleh faktor waktu getar ( T ) atau frekuensi (ω) dan pergeseran (x) ,dalam system MDOF juga dipengaruhi oleh kedua factor tersebut. Langkah pertama dalam analisis system MDOF yakni menghitung harga frekuensi dari gerak bebas dan mode shapenya.

Untuk gerak bebas tanpa gaya luar persamaan (2.14) menjadi :

$$[M] \{\ddot{x}\} + [K] \{x\} = 0 \dots\dots\dots 2.14$$

Seperti pada system SDOF,maka

$$x(t) = \hat{x} \sin(\omega t + \Theta)$$

dimana ;  $\hat{x}$  = amplitude akibat getaran

$\Theta$  = angle shape

$$\ddot{x}(t) = -\omega \hat{x} \sin(\omega t + \Theta) = -\omega^2 \hat{x}$$

Harga  $x(t)$  dan  $\ddot{x}(t)$  disubstitusikan ke persamaan (2.2) ;

$$[ [K] - \omega^2 [M] ] \{ \hat{x} \} = 0 \dots\dots\dots 2.15$$

$$[ [K] - \omega^2 [M] ] = 0 \dots\dots\dots 2.16$$

Persamaan 2.2 akan menghasilkan  $[\omega]$  dan mode shape pasangannya  $\{\phi_n\}$  yang disebut juga eigenvalue dan eigenvector. Pada gerak bebas dari sistem linear elastic,mode shape  $\{\phi_n\}$  memiliki sifat khusus yang disebut “hubungan orthogonality” yang menggunakan hukum Betti dan bermanfaat dalam analisa dinamis.

**2.6 Konsep P-Delta**

Pada analisis orde kedua (second order analysis) , persamaan keseimbangan dirumuskan

berdasarkan struktur yang telah berdeformasi. Karena analisa ini mengarah pada hubungan beban dan pergeseran yang tak linear, beban yang digunakan dalam analisis adalah beban yang menyebabkan kondisi keruntuhan. Sehingga lendutan dan efek dari analisis orde kedua tergantung pada asumsi kekakuan dari elemen-elemen batang yang ditinjau pada kondisi keruntuhan dan dengan memperhatikan perilaku tak linear. Kondisi struktur seperti ini disebut dengan efek P-Delta ( P- $\Delta$  effect). Secara matematis pengaruh P Delta dijabarkan sebagai berikut :

$$M = H \times h + P \times \Delta$$

Perhitungan gaya goyang (sway force) untuk kasus beban kombinasi relatif sederhana dimana gaya lateral dan vertikal  $P_u$  dikerjakan pada struktur dan perpindahan relatif  $\Delta_i$  pada setiap tingkat dihitung dengan analisis elastik orde satu, dan dengan mengabaikan efek P- $\Delta$ . Gaya geser tingkat akibat gaya vertikal (P- $\Delta$  effect) pada tingkat ke-i ,dapat dihitung sebagai:

$$H_i = \frac{\sum P_i \cdot \Delta_i}{h_i}$$

dengan :

$P_i$  = jumlah gaya aksial pada semua kolom pada tingkat ke- $i$

$\Delta_i = U_i - U_{i+1}$  yaitu drift pada tingkat ke- $i$

$h_i$  = tinggi tingkat ke- $i$

Pada suatu lantai ke- $i$  gaya goyangan adalah gaya hasil penjumlahan geser tingkat dari kolom di atas dan di bawah lantai. Gaya goyangan kemudian ditambahkan ke dalam gaya lateral di masing-masing tingkat, total dan momen orde kedua pada struktur tersebut dapat dihitung kembali dengan siklus ke-2 dari analisis orde pertama. Bila kekakuan batang memadai pada umumnya hanya diperlukan satu atau dua siklus saja.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Umum

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan ni adalah metode analisis deskriptif. Kajian masalah dalam penelitian ini difokuskan pada analisis efek P-Delta ( $\Delta$ ) pada kolom struktur lima belas lantai yang mengalami pengaruh gaya lateral yakni gaya gaya gempa serta gaya vertikal (gravitasi) yang diakibatkan oleh berat struktur itu sendiri dan gaya yang berasal dari manuver helicopter (take off dan landing) pada atap struktur yang dijadikan helipad.

#### 3.2 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan untuk melakukan penelitian ini meliputi :

- a. Pengajuan proposal penelitian
- b. Melengkapi persyaratan yang harus dipenuhi untuk melaksanakan penelitian ini

#### 3.3. Sistematika Penelitian

Adapun sistematika penelitian ini akan dilakukan pembagian menjadi beberapa tahapan yaitu :

- a. Studi Literatur
 

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan teori-teori yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas dan digunakan sebagai landasan teori pada tinjauan pustaka.
- b. Pemodelan Struktur
 

Pemodelan struktur dilakukan di computer menggunakan software ETABS versi 9.0 yakni membuat model struktur bangunan penahan geser. Model struktur merupakan struktur beton open frame lima belas lantai dengan tinggi 58,8 m .
- c. Pengumpulan data
 

Pengumpulan data dimaksud yaitu memasukkan unsur-unsur perencanaan dalam perhitungan struktur seperti:

  1. Denah dan sistem struktur bangunan
    - Jenis struktur yang digunakan adalah jenis struktur portal beton bertulang
    - Gambar rencana kolom dan balok
    - Modulus elastisitas beton,  $E = 2,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
    - Poisson ratio,  $\mu = 0,2$
  2. Data pembebanan
    - Beban mati
    - Beban hidup
    - Beban gempa
    - Beban helipad
  3. Wilayah Gempa
 

Bangunan yang didirikan berada pada zona 4 peta wilayah gempa indonesia dan dibangun diatas tanah sedang
  4. Faktor Keutamaan
 

$I = 1,0$  (diasumsikan gedung ini akan difungsikan sebagai perkantoran)  
 $K=1,0$  (asumsi bahan yang digunakan adalah beton bertulang)

- d. Pengolahan data  
 Dari data bangunan tersebut dilakukan perencanaan awal (preliminary design) untuk memperoleh gaya-gaya dalam dari beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin dari struktur open frame. Untuk mengetahui seberapa besar lendutan maksimum maka analisis struktur dilakukan dengan memasukkan efek P-Delta dan tidak memasukkan efek P-Delta pada perhitungan.
- e. Metode analisa  
 Metode analisa yang digunakan yaitu metode SDOF (Single Degree Of Freedom / metode derajat kebebasan tunggal) dan metode MDOF (Multi Degree Of Freedom / metode derajat kebebasan ganda)
- f. Kesimpulan  
 Berdasarkan hasil analisa struktur yang dilakukan disimpulkan bahwa efek P-Delta berpengaruh besar terhadap struktur bangunan dengan ketinggian minimal 10 lantai atau 40 m.

- Beban hidup (Live Load/LL) pada lantai
- Beban occupancy = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban mati (DL) tambahan pada atap:
- Beban plafond, mekanikal, elektrik = 100 kg/m<sup>2</sup>

Beban hidup (LL) pada atap:

- Beban hidup di atap = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban hidup di area helipad
  - Untuk beban hidup di area helipad direncanakan mampu menahan beban helikopter jenis Bell 206-B atau setaranya. Berat bruto helikopter jenis ini 1452 kg dan untuk perencanaan helipad menggunakan rumus :  

$$\frac{\text{Berat Heli} \times \text{Koefisien kejut} \times 0,5}{\text{Luas Bidang Kontak}}$$

Sehingga: 
$$\frac{1452 \times 1,5 \times 0,5}{2000} = 0,5445$$
  
 kg/cm<sup>2</sup> atau 5,45 ton/m<sup>2</sup>

#### 4. MATERI PENELITIAN

##### 4.1 Pendahuluan

Bangunan yang menjadi model penelitian tugas akhir merupakan bangunan perkantoran fiktif bertingkat banyak berlokasi di kota Bandung. Material bangunan untuk seluruh kolom, balok, dan pelat menggunakan sistem beton bertulang.

##### 4.2 Data Perencanaan Gedung

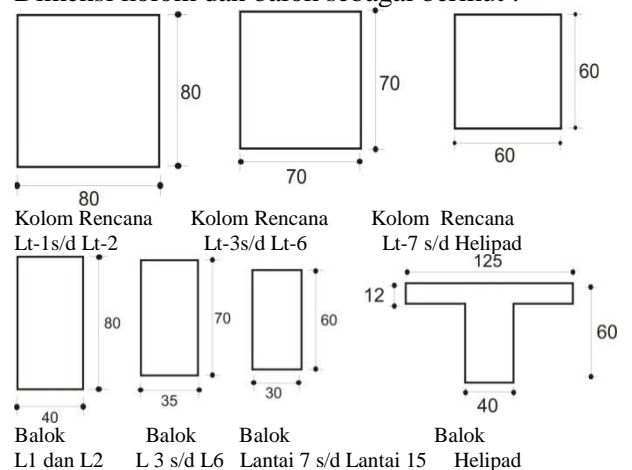
Data mengenai perencanaan gedung :

- Jumlah lantai 15
- Panjang gedung 35 m
- Lebar gedung 25 m
- Tinggi lantai dasar 4,5 m
- Tinggi lantai tipikal 3,7 m
- Tebal pelat atap = 20 cm
- Tebal pelat lantai = 12 cm
- Dimensi helipad pada atap struktur 15 m x 15 m
- Kuat tekan beton,  $f'_c = 40$  MPa
- Kuat tarik baja,  $f_y = 400$  MPa

Beban mati (super imposed dead load/SDL) tambahan pada lantai:

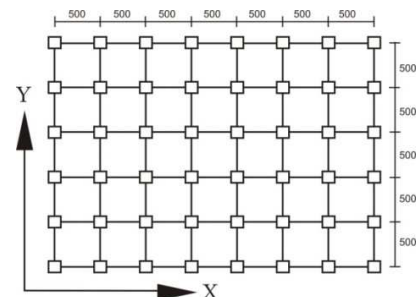
- Berat dinding/partisi = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban screed + keramik, plafond, mekanikal, elektrik = 170 kg/m<sup>2</sup>

Dimensi kolom dan balok sebagai berikut :

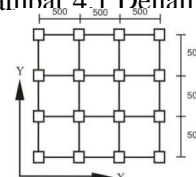


Gambar 4.1 Gambar Dimensi Balok dan Kolom

Detail bangunan terlampir pada gambar di bawah ini :

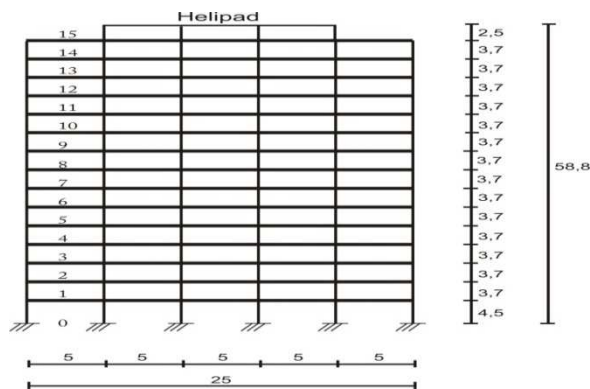


Gambar 4.1 Denah Lantai 1 s/d Lantai 15

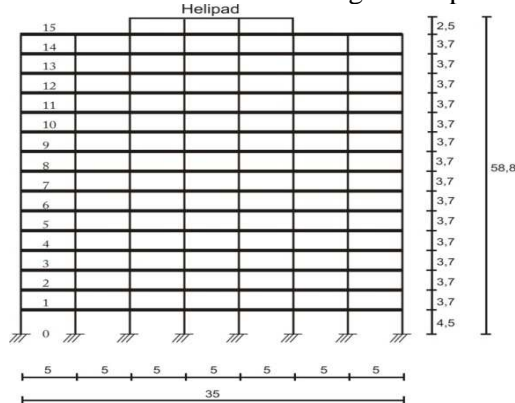




Gambar 4.2 Denah Helipad



Gambar 4.3 Denah Portal Struktur Lima Belas Lantai Arah – X dengan Helipad



Gambar 4.4 Denah Portal Struktur Lima Belas Lantai Arah – Y dengan Helipad

4.3 Desain Data Kegempaan

- Lokasi gedung di zone gempa 4
- Kondisi tanah di lokasi model termasuk dalam kategori tanah sedang.

Untuk tanah sedang untuk percepatan batuan dasarnya sebagaimana Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Percepatan Batuan Dasar

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah $A_0$ (g)				Tanah Khusus
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak		
1	0,03	0,03	0,04	0,08	Diperlukan Evaluasi Khusus di setiap Lokasi	
2	0,10	0,12	0,15	0,23		
3	0,15	0,18	0,22	0,30		
4	0,20	0,24	0,28	0,34		
5	0,25	0,29	0,33	0,36		
6	0,30	0,33	0,36	0,36		

Percepatan puncak batuan dasar 0,2 g dan percepatan muka tanah  $A_0 = 0,28$  g

Tabel 4.2 Percepatan Batuan Dasar

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5$ det		Tanah Sedang $T_c = 0,6$ det		Tanah Lunak $0,4 < T_c < 1,0$	
	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$
1	0,08	0,04	0,10	0,06	0,20	0,09
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,58	0,33
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,50
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,64
5	0,73	0,36	0,83	0,50	0,90	0,76
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,90	0,84

diperoleh

- $T_c = 0,6$  detik
- $A_m = 0,25 A_0 = 0,7$  g
- $A_r = A_m \times T_c = 0,42$  g
- Gedung yang digunakan merupakan perkantoran biasa, maka faktor keutamaan struktur,  $I = 1,0$
- Untuk sistem rangka pemikul momen khusus dari beton bertulang maka faktor reduksi gempa ,  $R = 8,5$

4.4 Berat Struktur

Berat struktur per lantai dengan penambahan beban helipad ditabelkan seperti di bawah ini :

Tabel 4.3 Berat Struktur dengan Helipad

Lantai	$Z_i$ (m)	$W_i$ (ton)	$W_i \cdot Z_i$ (ton/m)
HELIPAD	58,8	669,7115	39379,0362
15	56,3	1009,807	56852,1341
14	52,6	1055,307	55509,1482
13	48,9	1055,307	51604,5123
12	45,2	1055,307	47699,8764
11	41,5	1055,307	43795,2405
10	37,8	1055,307	39890,6046
9	34,1	1055,307	35985,9687
8	30,4	1055,307	32081,3328
7	26,7	1055,307	28176,6969
6	23	1147,0114	26381,2622

5	19,3	1147,0114	22137,32
4	15,6	1147,0114	17893,3778
3	11,9	1147,0114	13649,4357
2	8,2	1253,3578	10277,5334
1	4,5	1381,2202	6215,4909
	<b>Σ</b>	<b>17344,5981</b>	<b>527528,9707</b>

**4.5 Periode Natural**

Peioda natural struktur helipad dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) beton bertulang berlaku rumus :

$$T = 0,0731 H^{0,75}$$

$$= 0,0731 \times (58,8)^{0,75}$$

$$= 1,55$$

$T > T_c$  ,sehingga faktor respons gempa,

$$A_r = A_m \times T_c = 0,7 \times 0,6 = 0,42$$

$$C_t = \frac{A_r}{T} = \frac{0,42}{1,55} = 0,27$$

**4.6 Beban Geser Dasar (Base Shear)**

Perhitungan beban geser dasar menggunakan rumus :

$$V = \frac{C_t}{R} W_t$$

Karena nilai C arah -x sama dengan nilai arah -y, Beban geser dasar arah -x ( $V_x$ ) dan arah -y ( $V_y$ ) maka:

$$V = \frac{0,27 \times 1,0 \times 17344,5981}{8,5} = 550,94 \text{ ton}$$

**4.7 Gaya Lateral Statik Ekuivalen**

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} \cdot V$$

Gaya lateral statik ekuivalent yang bekerja pada setiap lantai tercantum dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4.4 Gaya Statik Ekuivalen dengan Helipad

Lantai	$Z_i$ (m)	$W_i$ (ton)	$W_i \cdot Z_i$ (ton-m)	$F_{x,y}$ Total ( ton )	V Story
					$V_{x,y}$ (ton)
HELIPAD	58,8	669,71	39379,03	41,12	41,12
15	56,3	1009,8	56852,13	59,37	100,50
14	52,6	1055,30	55509,14	57,97	158,47

13	48,9	1055,30	51604,51	53,89	212,37
12	45,2	1055,30	47699,87	49,81	262,18
11	41,5	1055,30	43795,24	45,73	307,9
10	37,8	1055,30	39890,60	41,66	349,58
9	34,1	1055,30	35985,96	37,58	387,17
8	30,4	1055,30	32081,33	33,50	420,67
7	26,7	1055,30	28176,69	29,42	450,10
6	23	1147,01	26381,26	27,55	477,65
5	19,3	1147,01	22137,32	23,11	500,77
4	15,6	1147,01	17893,37	18,68	519,46
3	11,9	1147,01	13649,43	14,25	533,72
2	8,2	1253,35	10277,53	10,73	544,45
1	4,5	1381,22	6215,49	6,49	550,94
	<b>Σ</b>	<b>17344</b>	<b>527528</b>	<b>550</b>	

Perbandingan tinggi dengan panjang denah dalam arah pembebanan gempa arah -x=  $58,8/35 = 1,68 < 3$  dan arah -y =  $58,8/25 = 2,35 < 3$  sehingga tidak perlu ada beban horisontal terpusat sebesar 0,1 V di lantai tingkat paling atas.

**4.8 Perhitungan Beban Akibat Gaya Gravitasi**

Persamaan beban merata equvalen untuk distribusi beban pelat berbentuk segitiga maupun trapesium.

**5. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA**

**5.1 Kontrol Partisipasi Massa**

Menurut SNI 03-1726 -2002 pasal 7.2.1 perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus sekurang-kurangnya 90%. Berikut ini merupakan tabel analisa modal participating mass ratio :

Tabel 5.1 Hasil dari Modal Partisipasi Massa

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	7,355608	5,6005	61,1271	0	5,6005	61,1271	0
2	6,937508	63,9219	7,1668	0	69,5224	68,2939	0
3	5,329462	2,4554	3,423	0	71,9778	71,7169	0
4	2,275804	1,4909	11,5136	0	73,4687	83,2305	0
5	2,179002	12,0044	1,8961	0	85,4731	85,1265	0

6	1,762148	0,4997	0,7375	0	85,9728	85,8641	0
7	1,346982	0,6627	3,9287	0	86,6355	89,7928	0
8	1,294575	4,1212	0,7907	0	90,7567	90,5834	0
9	1,053197	0,1519	0,2245	0	90,9086	90,808	0
10	0,914697	0,4261	2,2507	0	91,3348	93,0587	0
11	0,880268	2,3239	0,4919	0	93,6587	93,5506	0
12	0,719732	0,0128	0,002	0	93,6715	93,5526	0

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa dengan 8 modes saja sudah mampu memenuhi syarat partisipasi massa sesuai SNI 03-1726-2002.

**5.2 Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum**

Menurut SNI 03-1726 -2002 pasal 7.1.3 bahwa Nilai Akhir Respons Spektrum tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam pertama atau  $V_{dinamik} > 0,8 V_{statik}$ . Dipilih Cases: Statik X, Statik Y, RSPX, dan RSPY. Setelah itu jumlahkan Joint Reaction masing-masing cases tersebut. Maka didapat hasil dari Base Reaction seperti tabel di bawah ini.

Tabel 5.2 Nilai Akhir Respons Spektrum dan Beban Gempa Statik Ekuivalen

TIPE BEBAN GEMPA	FX	FY
GEMPA RESPONS SPEKTRUM X (Ton)	5496,94	2308,69
GEMPA RESPONS SPEKTRUM Y (Ton)	2359,73	18886,48
GEMPA STATIK X (Ton)	-741,65	-224,67
GEMPA STATIK Y (Ton)	-219,72	-758,14

Maka dari hasil diatas dipastikan nilai akhir dari Repons Spektrum telah memenuhi syarat yakni  $V_{dinamik} > 0,8 V_{statik}$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk konfigurasi bangunan gedung. Gempa Dinamik lebih dominan. Sehingga selanjutnya untuk tahap perancangan struktur akan digunakan beban gempa dinamik.

**5.3 Simpangan Struktur**

Pada program ETABS simpangan struktur akibat beban lateral (beban gempa) dapat dilihat melalui grafik. Hasil dari simpangan struktur ditabelkan seperti di bawah ini :

Tabel 5.3 Simpangan Struktur

Tingkat		STATIK X ARAH		STATIK Y ARAH		RSP X ARAH		RSPY ARAH	
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
16	58,8	69,24	21,44	23,77	76,21	547	217	238	617
15	56,3	69,81	25,8	26,34	80,64	576	266	264	703
14	52,6	68,1	25,42	25,87	78,78	565	263	258	690
13	48,9	65,45	24,66	25,17	75,51	544	250	250	661
12	45,2	61,84	23,33	23,54	71,08	513	237	238	624

**5.4 Pembesaran Momen**

Dari hasil analisa struktur beton bertulang open frame lima belas lantai dengan penambahan beban helipad menyertakan efek P-Delta dalam perhitungan diperoleh gaya dalam dan lendutan. Analisis tersebut diambil beberapa bagian saja dari analisa struktur untuk dijadikan bahan perbandingan yakni pada kolom pojok yang diwakili oleh kolom C17 (kolom 1-A) . Pada bagian kolom tengah diwakili oleh kolom kolom C1 (kolom 2-C) dan 1 kolom C7 (kolom 5-D).

Tabel 5.4 Prosentase kenaikan atau penurunan momen kolom C1

LANTAI	KOLOM	LOKASI	TANPA P-DELTA	DENGAN P-DELTA	PROSENTASI KENAIKAN MOMEN
		<i>m</i>	<i>Ton-mm</i>	<i>Ton-mm</i>	%
	C1	0	-7338,954	-7214,131	-1,7302569
HELIPAD	C1	950	525,474	310,265	-69,362964
	C1	1900	8389,903	7834,662	-7,0869809
	C1	0	1565,695	2446,621	36,005822
STORY 15	C1	1550	-1260,251	-1397,698	9,8338125
	C1	3100	-4086,197	-5242,017	22,049146
	C1	0	3384,197	4748,86	28,736644
STORY 14	C1	1550	-376,897	-448,704	16,0032
	C1	3100	-4137,991	-5646,267	26,7128
	C1	0	6236,219	8179,114	23,754346
STORY 13	C1	1550	-210,287	-243,275	13,559963
	C1	3100	-6656,794	-8665,665	23,18196
	C1	0	8658,649	11179,985	22,552231
STORY 12	C1	1550	98,728	115,925	14,834591
	C1	3100	-8461,192	-10948,134	22,71567
	C1	0	10952,476	14063,166	22,119415
STORY 11	C1	1550	361,418	430,96	16,136532

	C1	3100	-10229,64	-	13201,247	22,510048
	C1	0	13054,643	16755,583		22,087802
STORY 10	C1	1550	620,893	747,766		16,966939
	C1	3100	-	-	11812,856	22,589669
	C1	0	15000,148	19290,918		22,242436
STORY 9	C1	1550	897,919	1094,959		17,995194
	C1	3100	-13204,31	-	17101,001	22,786333
	C1	0	16997,559	21923,552		22,468955
STORY 8	C1	1550	1408,065	1747,1		19,405586
	C1	3100	-14181,43	-	18429,352	23,049763
	C1	0	20116,725	26036,689		22,737008
STORY 7	C1	1550	3458,33	4388,537		21,196289
	C1	3100	-	-	13200,064	23,520519
	C1	0	19659,905	25756,626		23,670496
STORY 6	C1	1500	2099	2627,952		20,127917
	C1	3000	-	-	15461,904	24,578731
	C1	0	20428,627	26836,573		23,877661
STORY 5	C1	1500	2063,349	2606,961		20,852326
	C1	3000	16301,928	-	21622,651	24,607172
	C1	0	21894,604	28899,551		24,238948
STORY 4	C1	1500	2664,28	3407,147		21,803198
	C1	3000	-	-	16566,044	24,990489
	C1	0	25213,427	33448,938		24,621143
STORY 3	C1	1500	5626,887	7357,947		23,526399
	C1	3000	-	-	13959,654	25,481123
	C1	0	24135,182	32275,146		25,220533
STORY 2	C1	1450	4031,238	5261,914		23,388372
	C1	2900	-	-	16072,705	26,106983
	C1	0	34894,327	46887,496		25,578608
STORY 1	C1	1850	10896,641	14562,969		25,17569
	C1	3700	-	-	13101,045	26,239325
Prosentase rata-rata						19,45

Tabel 5.5 Prosentase kenaikan atau penurunan momen kolom C7

LANTAI	KOLOM	LOKASI	TANPA P-DELTA	DENGAN P-DELTA	PROSENTASI KENAIKAN MOMEN
		<i>m</i>	<i>Ton-mm</i>	<i>Ton-mm</i>	%
	C7	0	-1844,393	-1533,769	-20,252333
HELIPAD	C7	950	-1506,693	-1800,492	16,317706

	C7	1900	-1168,993	-2067,215		43,450826
	C7	0	2316,287	3226,544		28,211517
STORY 15	C7	1550	-695,807	-812,686		14,381815
	C7	3100	-3707,902	-4851,916		23,578603
	C7	0	4894,266	6336,099		22,755847
STORY 14	C7	1550	-392,154	-466,012		15,848948
	C7	3100	-5678,574	-7268,123		21,870144
	C7	0	7503,239	9527,552		21,246937
STORY 13	C7	1550	-92,614	-122,237		24,23407
	C7	3100	-7688,467	-9772,025		21,321661
	C7	0	9915,305	12530,917		20,873269
STORY 12	C7	1550	179,174	199,551		10,211425
	C7	3100	-9556,957	-12131,814		21,224007
	C7	0	12132,958	15348,334		20,949349
STORY 11	C7	1550	443,526	517,235		14,250582
	C7	3100	-	-	11245,906	21,433472
	C7	0	14165,315	17981,332		21,222104
STORY 10	C7	1550	695,409	827,353		15,947727
	C7	3100	-	-	12774,496	21,756664
	C7	0	16029,065	20444,445		21,596967
STORY 9	C7	1550	965,82	1168,97		17,378547
	C7	3100	-	-	14097,425	22,14166
	C7	0	17945,689	23007,655		22,001225
STORY 8	C7	1550	1474,093	1822,385		19,111878
	C7	3100	-	-	14997,502	22,545106
	C7	0	21012,727	27086,014		22,422225
STORY 7	C7	1550	3547,705	4499,14		21,147041
	C7	3100	-	-	13917,316	23,056604
	C7	0	20796,819	27059,465		23,144013
STORY 6	C7	1500	2166,11	2707,753		20,003412
	C7	3000	-	-	16464,599	23,929815
	C7	0	21365,802	27939,489		23,528301
STORY 5	C7	1500	2141,736	2698,843		20,642438
	C7	3000	-17082,33	-22541,802		24,219324
	C7	0	22712,136	29893,058		24,022039
STORY 4	C7	1500	2731,731	3492,154		21,775185
	C7	3000	-	-	17248,673	24,707056
	C7	0	25934,079	34364,87		24,533167
STORY 3	C7	1500	5723,213	7491,666		23,605604

	C7	3000	-	-19381,538	25,250246
	C7	0	14487,652	33231,537	25,103359
STORY 2	C7	1450	4108,651	5370,184	23,49143
	C7	2900	-	-22491,169	25,873119
	C7	0	16672,002	47757,349	25,686466
STORY 1	C7	1850	35490,174	14764,115	25,366119
	C7	3700	-	-18229,119	26,20537
Prosentase rata-rata					<b>21,32</b>

Tabel 5.6 Prosentase kenaikan atau penurunan momen kolom C17

LANTAI	KOLOM	LOKASI	TANPA P-DELTA	DENGAN P-DELTA	PROSENTASI KENAIKAN MOMEN
			m	Ton-mm	Ton-mm
	C17	0	-4764,58	-4917,941	3,1183985
STORY 15	C17	1550	-893,685	-1066,117	16,173835
	C17	3100	2977,21	2785,708	-6,8744463
	C17	0	-2436,842	-2207,607	-10,383868
STORY 14	C17	1550	-1317,148	-1542,751	14,623423
	C17	3100	-197,453	-877,895	77,508358
	C17	0	-1217,755	-698,644	-74,302649
STORY 13	C17	1550	-985,286	-1175,022	16,147442
	C17	3100	-752,816	-1651,399	54,41344
	C17	0	167,543	1011,554	83,437068
STORY 12	C17	1550	-814,441	-981,56	17,025857
	C17	3100	-1796,424	-2974,673	39,609362
	C17	0	1444,714	2618,297	44,822379
STORY 11	C17	1550	-609,261	-745,216	18,243704
	C17	3100	-2663,236	-4108,728	35,18101
	C17	0	2675,821	4187,983	36,107167
STORY 10	C17	1550	-412,534	-512,503	19,506032
	C17	3100	-3500,889	-5212,99	32,842975
	C17	0	3934,958	5809,27	32,264157
STORY 9	C17	1550	-161,875	-206,765	21,710638
	C17	3100	-4258,708	-6222,8	31,562833
	C17	0	5348,988	7657,892	30,150647
STORY 8	C17	1550	297,904	379,808	21,56458
	C17	3100	-4753,181	-6898,277	31,096113
	C17	0	9592,589	13076,311	26,641474
STORY 7	C17	1550	2841,89	3615,232	21,391214

	C17	3100	-3908,81	-5845,848	33,135278
	C17	0	4703,605	7233,02	34,970386
STORY 6	C17	1500	1250,824	1557,198	19,674698
	C17	3000	-2201,957	-4118,624	46,536586
	C17	0	6655,057	9669,415	31,174151
STORY 5	C17	1500	464,532	605,09	23,229272
	C17	3000	-5725,993	-8459,236	32,310755
	C17	0	8095,17	11590,268	30,155455
STORY 4	C17	1500	1316,406	1697,803	22,464149
	C17	3000	-5462,358	-8194,662	33,342486
	C17	0	13198,546	18397,438	28,258783
STORY 3	C17	1500	4722,161	6239,568	24,319104
	C17	3000	-3754,224	-5918,302	36,56586
	C17	0	6374,505	9900,181	35,612238
STORY 2	C17	1450	2109,444	2780,857	24,144104
	C17	2900	-2155,617	-4338,467	50,313855
	C17	0	29362,067	39813,822	26,251574
STORY 1	C17	1850	12352,287	16386,217	24,617824
	C17	3700	-4657,493	-7041,387	33,855461
Prosentase rata-rata					<b>27,21140348</b>

5.5 Lendutan Pada Kolom Struktur

Lendutan pada kolom struktur diperoleh berdasarkan analisa menggunakan perangkat lunak (software) ETABS. Tabel menampilkan lendutan pada arah X,Y, dan Z yang diwakili oleh kolom C17 untuk portal bagian tepi. Kolom C7 yang mewakili portal bagian tengah.

Tabel 5.7 Lendutan Pada Kolom C1 (Kolom 2-C)

lantai	Lendutan Comb 3 Tanpa P-Delta (mm)			Lendutan Comb 3 Dengan P-Delta (mm)			Prosentase Kenaikan atau Penurunan Lendutan (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
16	56,58	34,22	-10,81	71,94	44,28	-10,74	21,35	22,21	-0,66
15	56,07	33,85	-10,73	71,32	43,83	-10,66	21,39	22,77	-0,65

Tabel 5.8 Lendutan Pada Kolom C7 (Kolom 5-D)

Lantai	Lendutan Comb 3 Tanpa P-Delta (mm)			Lendutan Comb 3 Dengan P-Delta (mm)			Prosentase Kenaikan atau Penurunan Lendutan (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
16	57,36	33,47	-14,56	73,05	43,79	-14,56	21,47	22,63	
15	56,84	33,47	-14,31	72,41	43,29	-14,31	21,51	22,68	0,04

Tabel 5.9 Lendutan Pada Kolom C17 (Kolom 1-A)

Lantai	Lendutan Comb 3 Tanpa P-Delta (mm)			Lendutan Comb 3 Dengan P-Delta (mm)			Prosentase Kenaikan atau Penurunan Lendutan (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
15	55,68	34,57	-3,08	70,83	44,92	-2,43	21,32	22,92	-26,42
14	54,08	33,57	-3,05	68,83	43,62	-2,40	21,43	23,04	-26,75

Kontrol terhadap lendutan yang terjadi pada struktur

- Lendutan maksimum kolom 1-A
  - Arah X = 71,43 mm
  - Arah Y = 45,28 mm
  - Arah Z = -3,13 mm
- Lendutan maksimum kolom 2-C
  - Arah X = 71,99 mm
  - Arah Y = 44,29 mm
  - Arah Z = -10,81 mm
- Lendutan maksimum kolom 5-D
  - Arah X = 73,1 mm
  - Arah Y = 43,73 mm
  - Arah Z = -14,57 mm

Lendutan maksimum tersebut lebih kecil dari lendutan ijin yaitu :

$$\frac{L}{360} = \frac{42000}{360} = 116,67 \text{ mm}$$

### 5.6 Pembahasan Analisa Struktur

Berdasarkan tabel dan grafik yang diperoleh dari hasil analisa struktur menggunakan software ETABS didapati bahwa rata-rata momen yang terjadi pada kolom pojok (1-A) dan kolom tengah (kolom 2-C dan 5-D) lebih besar apabila efek P-Delta turut diperhitungkan dibandingkan dengan hasil analisa tanpa memasukkan efek P-Delta.

Prosentase kenaikan momen pada kolom pojok yakni sebesar 27,12 % dan pada kolom tengah sebesar 19,45 % dan 23,12 % .

Lendutan yang ditimbulkan oleh pengaruh gaya lateral dan pembebanan terhadap kolom struktur yakni :

- Prosentase kenaikan lendutan kolom C17
  - Arah X = 21,64 %
  - Arah Y = 23,23 %
  - Arah Z = 38,93 %
- Prosentase Kenaikan lendutan kolom C1
  - Arah X = 21,69 %
  - Arah Y = 23,03 %
  - Arah Z = -0,537 %
- Prosentase kenaikan lendutan kolom C7
  - Arah X = 21,82 %
  - Arah Y = 22,94 %
  - Arah Z = 0,035 %

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa stuktur gedung dapat disimpulkan bahwa:

1. Simpangan struktur yang terjadi akibat pengaruh Gempa Spektra sangat signifikan dibandingkan dengan simpangan struktur akibat Gempa Statik dimana simpangan akibat gempa spektra nilainya yakni 10,96 mm untuk struktur pada lantai I dan 703 mm untuk struktur pada lantai 15, sedangkan simpangan akibat gempa statik nilainya berkisar antara 1,52 mm untuk struktur lantai I dan 80,64 mm untuk struktur lantai 15. Oleh karena itu analisis dalam perencanaan struktur diatas 10 lantai atau 40 m harus menggunakan analisis akibat pengaruh gempa dinamik
2. Momen akibat pengaruh P-Delta dalam perhitungan struktur cukup besar. Prosentase kenaikan momen yang terjadi yakni berkisar 1,69 % untuk nilai kenaikan momen terkecilnya dan kenaikan momen terbesar yakni 83,43 %. Sementara itu untuk prosentase rata-rata kenaikan momen yakni 27,21 % untuk kolom pojok (kolom 1-A) , 19,45 % untuk kolom tengah (kolom 2-C) dan 21,32 % untuk kolom 5-D. Oleh karena itu P-Delta harus diperhatikan dan dimasukkan dalam perencanaan serta perhitungan struktur . Pengaruh pembesaran momen pada kolom sruktur yakni pada perhitungan dimensi kolom dan penulangan.
3. Lendutan yang terjadi pada kolom struktur akibat pengaruh P-Delta bertambah besar jika dibandingkan lendutan dari analisa struktur tanpa menggunakan P-Delta. Hal tersebut juga berbanding lurus dengan tinggi bangunan apabila bangunan semakin tinggi maka semakin besar pula lendutan. Lendutan maksimum pada kolom struktur yakni 73,1 mm dan masih dibawah lendutan maksimum yang diijinkan yakni 116,7 mm.

### 6.2 Saran

Analisis pada studi kasus ini hanya memperhitungkan efek P-Delta yang didasarkan pada simpangan struktur, lendutan dan momen akhir menggunakan analisa riwayat waktu.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Juwono H. Ir. 2006, *Diktat Analisa Struktur 1, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala. Bandung*
- Kusuma Beny. Tavo, 2009, *Desain Sitem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa, ITS Press, Surabaya 2009.*
- Kusuma. Gideon. Andriano, Takim, *Desain Struktur rangka Beton Bertulang Didaerah rawan gempa, Erlangga, Jakarta 1994.*
- Schodek. Daniel, *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi, Eresco, Jakarta 1989.*
- Muto, Kyoshi, *Analisa Perancangan Gedung Tahan Gempa, Erlangga Jakarta 1993.*
- Mario, Paz, *Dinamika Struktur, Erlangga, Jakarta 1987*
- . Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI-03-1726-2002)*, Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pemukiman Bandung, 2002.
- Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, *Tata Cara Pehitungan Pembebanan untuk Bangunan Rumah dan Gedung (RSNI 03-1727-1989)*, Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pmukiman Bandung, 2002.
- Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, *Tata Cara Pehitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*, Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pmukiman Bandung, 2002.
- US Department of Transportation, *Advisory Circular for Heliport Design*, Federal Aviation Administration, USA 2004.
- Wahyudi, A. Rahim. Syahril, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia, Jakarta, 1997.