

## BAB IV

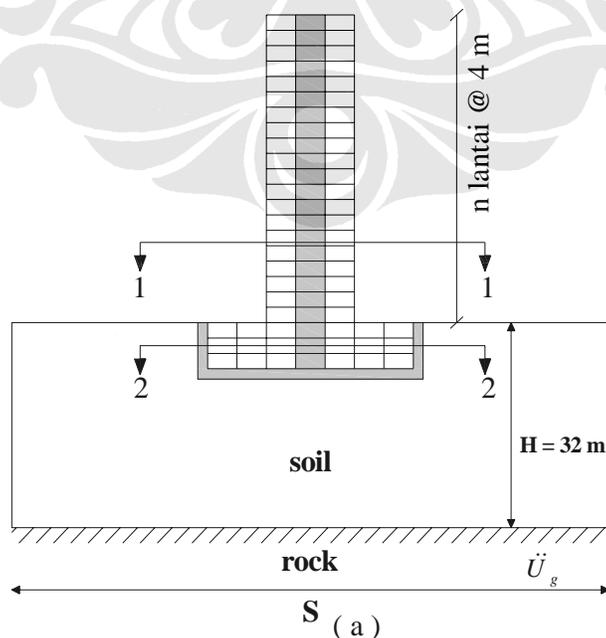
### METODOLOGI PENELITIAN

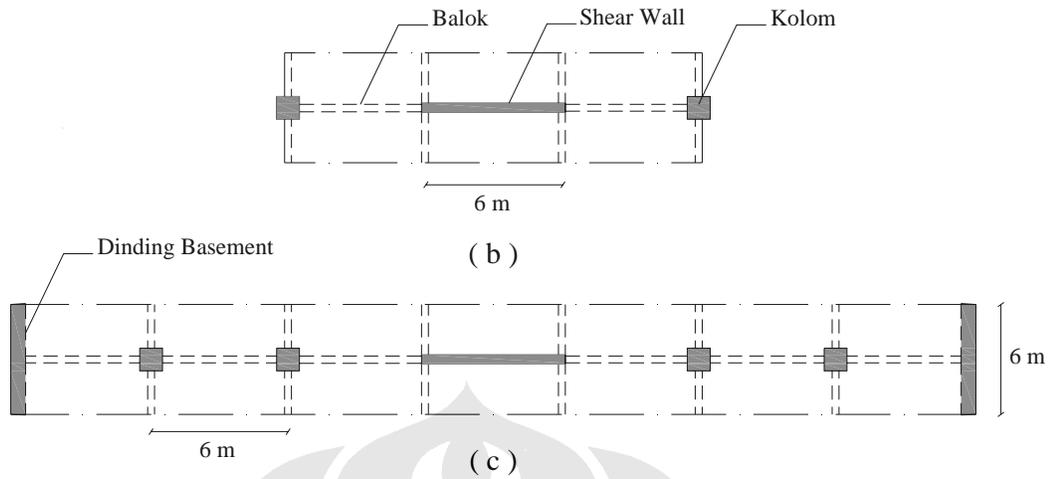
#### 4.1. INFORMASI UMUM PEMODELAN STRUKTUR ATAS

##### 4.1.1. Pemodelan Struktur

Pemodelan sistem struktur-tanah dimodelkan dalam bentuk dua dimensi, seperti terlihat pada gambar 4.1. Sistem struktur terdiri atas balok, kolom, *shear wall*, dinding basemen yang dimodelkan sebagai kolom, dan *bore pile* untuk salah satu pemodelan. Tanah dimodelkan sebagai sistem pegas-redaman, elemen *plane strain*, dan tekanan tanah. Pemodelan sistem struktur-tanah dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000 versi 10.

Struktur atas terdiri dari  $n$  lantai yang akan divariasikan yaitu 10 lantai, 20 lantai, dan 30 lantai, dimana tinggi tiap lantai 4 m. Struktur atas mempunyai 3 bentang dan basemen mempunyai 7 bentang, dengan masing-masing bentang, baik struktur atas maupun basemen, berukuran 6 m.





**Gambar 4.1.** ( a ) Model umum struktur tanah ( b ) Potongan 1 - 1  
( c ) Potongan 2 - 2

Dimensi balok, kolom, dan shear wall untuk masing-masing variasi jumlah lantai dijabarkan dalam tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Dimensi balok, kolom, dan shear wall untuk masing-masing variasi jumlah lantai

Tipe Bangunan		Dimensi		
		Kolom ( cm x cm )	Balok ( cm x cm )	Tebal Wall ( cm )
10 lantai + basement	Lt 8 - Lt 10	50 x 50	30 x 60	20
	Lt 5 - Lt 7	60 x 60		
	Lt 1 - Lt 4	70 x 70		
	B1 - B3	80 x 80		
20 lantai + basement	Lt 16 - Lt 20	50 x 50	30 x 60	30
	Lt 11 - Lt 15	60 x 60		
	Lt 6 - Lt 10	70 x 70		
	Lt 1 - Lt 5	80 x 80		
	B1 - B3	80 x 80		

Tipe Bangunan		Dimensi		
		Kolom ( cm x cm )	Balok ( cm x cm )	Tebal Wall ( cm )
30 lantai + basement	Lt 26 - Lt 30	50 x 50	30 x 60	40
	Lt 21 - Lt 25	60 x 60		
	Lt 16 - Lt 20	70 x 70		
	Lt 11 - Lt 15	80 x 80		
	B3 - Lt 10	90 x 90		

#### 4.1.2. Pemodelan Tanah

Untuk tanah, beberapa batasan yang digunakan antara lapisan tanah homogen dan sifat tanah linear elastis. Ruang lingkup tanah, seperti terlihat pada gambar 4.1. memiliki kedalaman dari muka tanah sampai *bedrock* sedalam **H** 32 m dan lebar tanah yang masuk dalam pemodelan sebesar **S**, lebar tanah ini yang nantinya divariasikan untuk mendapatkan respon maksimum. Beberapa properti tanah yang perlu diketahui antara lain :

E = Modulus elastisitas tanah = 25 MPa

G = Modulus geser tanah = 20 MPa

$\nu$  = *Poisson ratio* tanah = 0,4

$\rho$  = Massa jenis tanah = 17 kN/m<sup>3</sup>

Dengan menggunakan persamaan untuk nilai kekakuan dan redaman oleh N.M. Newmark dan E. Rosenblueth, *Fundamental of Earthquake Engineering* [ 3 ], didapatkan nilai kekakuan *spring constant* arah X adalah

$$K_x = 18,2Gr \frac{(1-\nu^2)}{(2-\nu)^2}$$

dan nilai redaman dalam bentuk *dampner* arah X adalah

$$C_x = 1,08\sqrt{K\rho r^3}$$

Dimana

$$r = \sqrt{\frac{\text{Luas Alas Besemen}}{\pi}} = \sqrt{\frac{42 \times 42}{\pi}} = 23,7m$$

$K_x = 2831000$  kN/m

$$C_x = 296500 \text{ kN-s/m}$$

Akan tetapi nilai di atas adalah nilai kekakuan dan redaman tunggal untuk bangunan 3 dimensi, sehingga nilai kekakuan untuk bangunan 2 dimensi sepanjang dinding besemen mengikuti prosedur sebagai berikut :

- Nilai  $K_x$  dan  $C_x$  dibagi dua, karena ada dua dinding besemen ( dinding besemen kanan dan kiri
- Karena yang ditinjau hanya 1 bagian portal saja, maka dibagi pula dengan banyaknya bentang dalam satu sisi dinding yaitu 7 bentang
- Kedalaman dinding besemen adalah 12 m, dan pegas-redaman dipasang tiap 1 m, maka nilainya dibagi 12

Dengan demikian nilai  $K_x$  dan  $C_x$  dibagi 168, sehingga didapatkan nilai pegas-redaman nya sebagai berikut :

$$k_x = 16851,19 \text{ kN/m}$$

$$c_x = 1764,88 \text{ kN-s/m}$$

Sedangkan pemodelan tanah sebagai plane strain, dimodelkan tidak memiliki massa, dengan ketebalan 3 m ( mengambil 1/4 jarak kolom ke kanan dan ke kiri ). Kemudian prosedur mencari tekanan tanah akibat gempa adalah sebagai berikut :

- Nilai gaya lateral dicari dengan rumus  $P_{ER} = \frac{P_E k_o}{k_A}$  dimana  $P_E = \frac{3}{8} \frac{a_{\max}}{g} H^2 \gamma_t$ ,

dimana nilai

$$H = \text{kedalaman dinding besemen} = 12 \text{ m}$$

$$a_{\max} = \text{percepatan maksimum gempa wilayah 3, tanah lunak} = 0,3g$$

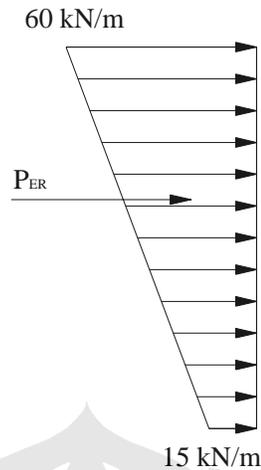
$$\phi = \text{sudut geser tanah} = 23^\circ$$

$$k_o = \text{koefisien tanah diam} = 1 - \sin \phi = 0,609$$

$$k_A = \text{koefisien tanah aktif} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = 0,438$$

Sehingga didapatkan  $P_E = 324 \text{ kN/m}$  dan  $P_{ER} = 450 \text{ kN/m}$

- Posisi gaya lateral dari dasar dinding besemen  $h_e = 0,6H = 7,2 \text{ m}$ . Gaya lateral ini kemudian diurai menjadi gaya terdistribusi berbentuk trapesium pada dinding besemen, dimana letak pusat gaya terdistribusi tersebut sama dengan posisi  $P_{ER}$ . Dengan demikian dapat ditentukan distribusi penyebaran gaya sepanjang dinding besemen yang berbentuk trapesium sebagai berikut :



#### 4.1.3. Material dan Pembebanan Struktur

Material struktur terdiri atas beton dan baja tulangan dengan spesifikasi sebagai berikut :

$f_c'$  = kuat tekan beton = 30 MPa

$E$  = modulus elastisitas beton =  $4700\sqrt{f_c'} = 25742,960$  MPa

$m$  = massa beton per satu satuan volume =  $2400 \text{ kg/m}^3$

$W$  = berat beton per satu satuan volume =  $24 \text{ kN/m}^3$

Dan besi tulangan dengan :

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan = 400 MPa

Sedangkan untuk pembebanan sebagai berikut perinciannya :

##### Atap

Beban mati :

- Pelat (12 cm) =  $0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$

- CME =  $36 \text{ kg/m}^2$

- Screed + finishing =  $110 \text{ kg/m}^2$

+  
Total beban mati =  $434 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup :

- Beban orang + perlengkapan =  $100 \text{ kg/m}^2$

##### Lantai Tipikal

Beban mati :

- Pelat (12 cm) =  $0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$

- Partisi	= 100 kg/m <sup>2</sup>
- Screed dan finishing	= 110 kg/m <sup>2</sup>
- CME	= 36 kg/m <sup>2</sup>
	_____+
Total beban mati	= 534 kg/m <sup>2</sup>

Beban hidup :

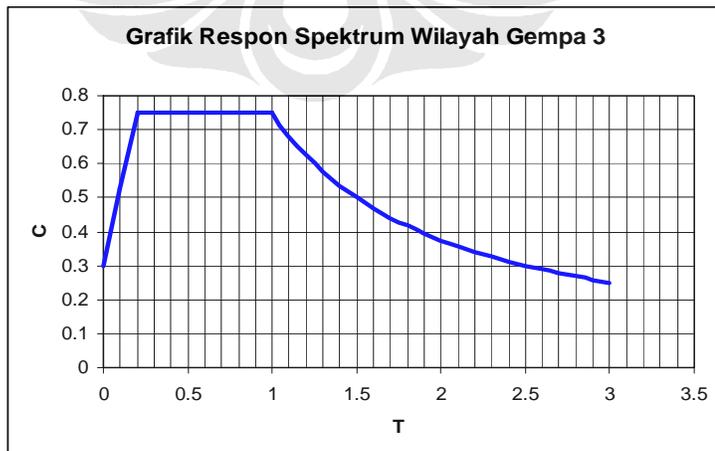
- Orang + Perlengkapan	= 250 kg/m <sup>2</sup>
------------------------	-------------------------

Lantai Basement

LL : Lantai basement parkir	= 400 kg/m <sup>2</sup>
DL : CME	= 36 kg/m <sup>2</sup>
Pelat ( 15 cm )	= 0,15 x 2400 kg/m <sup>3</sup> = 360 kg/m <sup>2</sup>

Untuk pembebanan gempa digunakan input gempa berupa respon spektrum yang diambil dari respon spektrum gempa SNI untuk wilayah gempa 3 ( Jakarta ) dengan jenis tanah lunak. Analisa modal yang digunakan tidak melebihi jumlah tingkat struktur. Analisa respon dinamik struktur dilakukan dengan menggunakan program SAP 8 versi 10. Beberapa hal terkait dengan input program antara lain :

1. Kombinasi massa untuk perhitungan gempa adalah 1DL + 0,3LL, dimana DL adalah beban mati dan LL adalah beban hidup.
2. Input gempa yang digunakan adalah respons spektrum gempa wilayah 3 dengan kondisi tanah lunak, sebagai berikut :



3. Karena struktur dimodelkan sebagai dua dimensi, maka percepatan gempa diberikan pada arah sumbu global X saja dengan faktor skala dihitung sebagai berikut :

$$\text{Faktor skala} = \frac{I}{R} g = 1,1541$$

Dimana :

I = faktor keutamaan gedung, untuk gedung perkantoran nilainya diambil 1

R = Faktor reduksi gempa, nilainya diambil 8,5

g = percepatan gravitasi  $9,81 \text{ m/s}^2$

4. Jumlah mode yang digunakan untuk analisa respon spektrum sama dengan jumlah tingkat struktur yang ditinjau, dimana jumlah partisipasi massa modalnya harus tidak kurang dari 90% ( lihat lampiran ). Tipe mode yang dianalisa adalah *eigen vectors*, sedangkan *modal combination* dan *directional combination* dihitung dengan metode SRSS, dimana respon gempa akhir diperoleh dari akar dari penjumlahan kuadrat respon masing-masing mode, sebagai berikut

$$r_0 = \left( \sum_{n=1}^N r_{n0}^2 \right)^{1/2}$$

## 4.2. VARIASI PEMODELAN

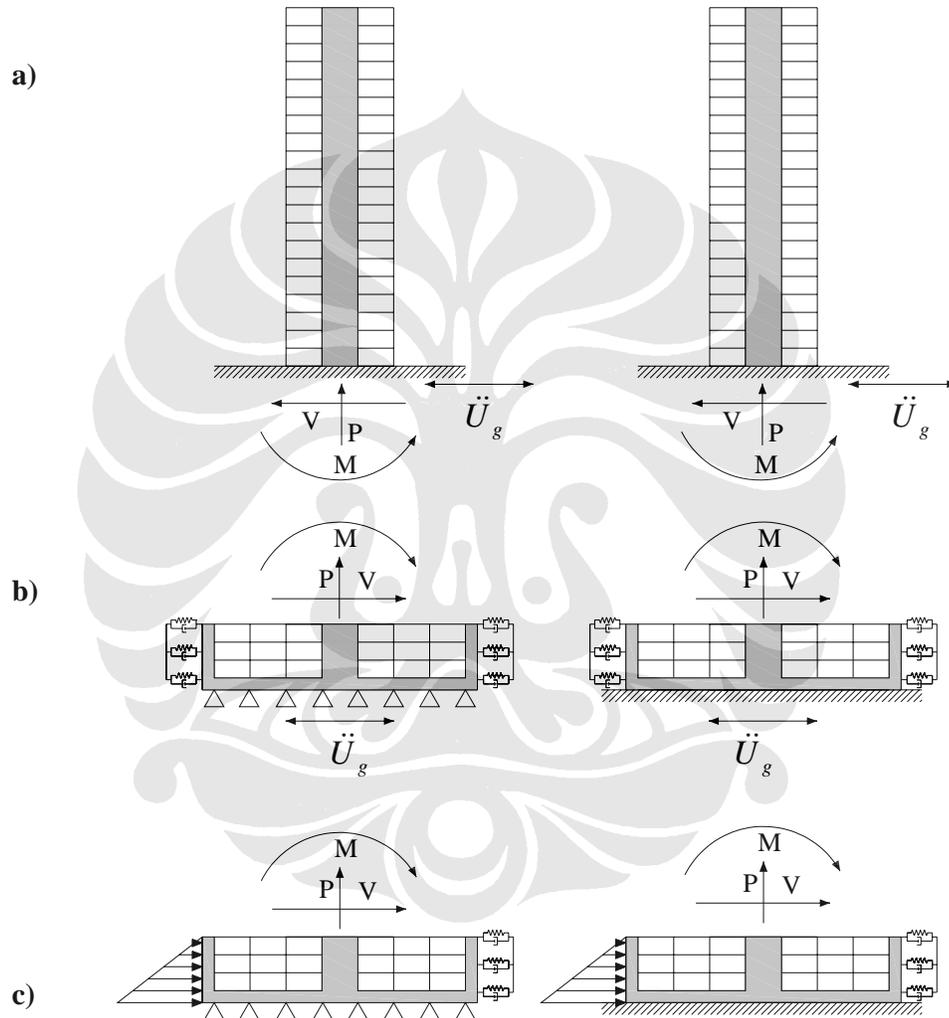
### 4.2.1. Penjepitan Lateral Struktur atas pada Taraf Lantai Dasar

Dalam pemodelan ini dipisahkan antara struktur atas dan besemen, struktur atas dijepit lateral pada taraf lantai dasar. Tanah di sekeliling besemen dimodelkan sebagai :

1. sebuah sistem pegas-redaman yang dipasang pada kedua sisi dinding besemen dimana perletakan besemen dimodelkan, pertama sebagai jepit dan kedua sebagai sendi. Percepatan gempa dikenakan pada perletakan struktur atas, kemudian reaksi perletakan akibat gempa disalurkan ke besemen sebagai aksi, digabung dengan percepatan gempa yang dikenakan pada perletakan besemen.
2. sebuah sistem pegas-redaman yang dipasang pada salah satu sisi dinding besemen, dimana perletakan besemen dimodelkan, pertama sebagai jepit

dan kedua sebagai sendi. Percepatan gempa dikenakan pada dasar penjepitan struktur atas. Kemudian reaksi perletakan akibat gempa disalurkan ke besemen sebagai aksi, digabung dengan gempa dalam bentuk tekanan tanah.

Pemodelan di atas dapat di lihat pada gambar 4.2. berikut ini :

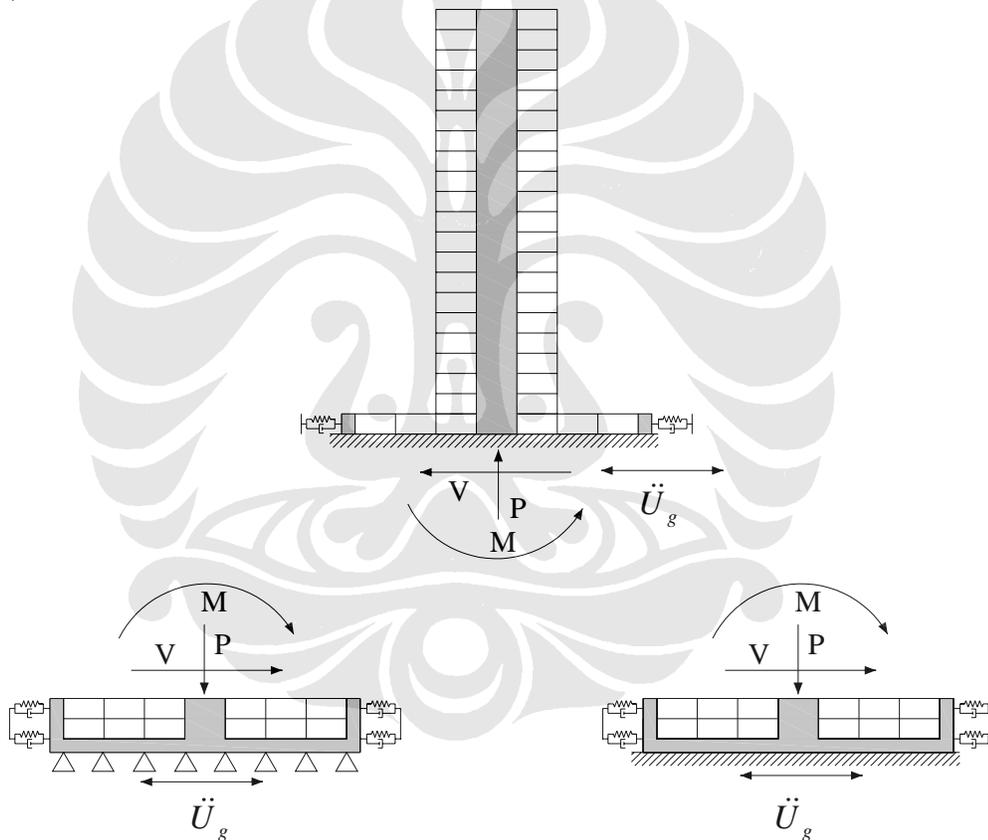


**Gambar 4.2.** a) Struktur atas dijepit lateral pada taraf lantai dasar, b) tanah sebagai pegas redaman di kedua dinding besemen, c) tanah sebagai pegas redaman di salah satu dinding besemen, dan gempa dimodelkan sebagai tekanan tanah

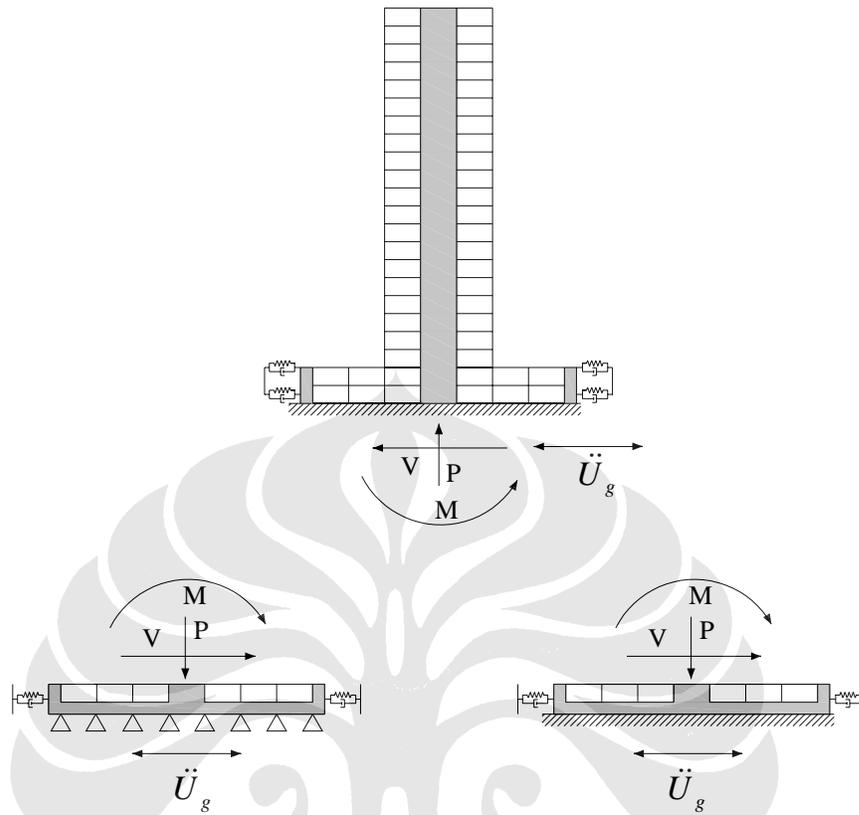
#### 4.2.2. Penjepitan Lateral Struktur atas pada Taraf Lantai Basement

Dalam pemodelan ini struktur atas dijepit pada taraf lantai basement, mulai dari besemen 1, besemen 2, dan besemen 3, kemudian dikenakan percepatan gempa pada taraf penjepitan. Reaksi perletakan yang didapatkan ditransfer sebagai aksi pada basemen di bawahnya. Tanah di sepanjang dinding besemen dimodelkan sebagai sistem pegas-redaman dengan perletakan pada dasar besemen dimodelkan, pertama sebagai jepit dan kedua sebagai sendi. Pemodelan dapat dilihat visualisasinya pada gambar 4.3. berikut ini :

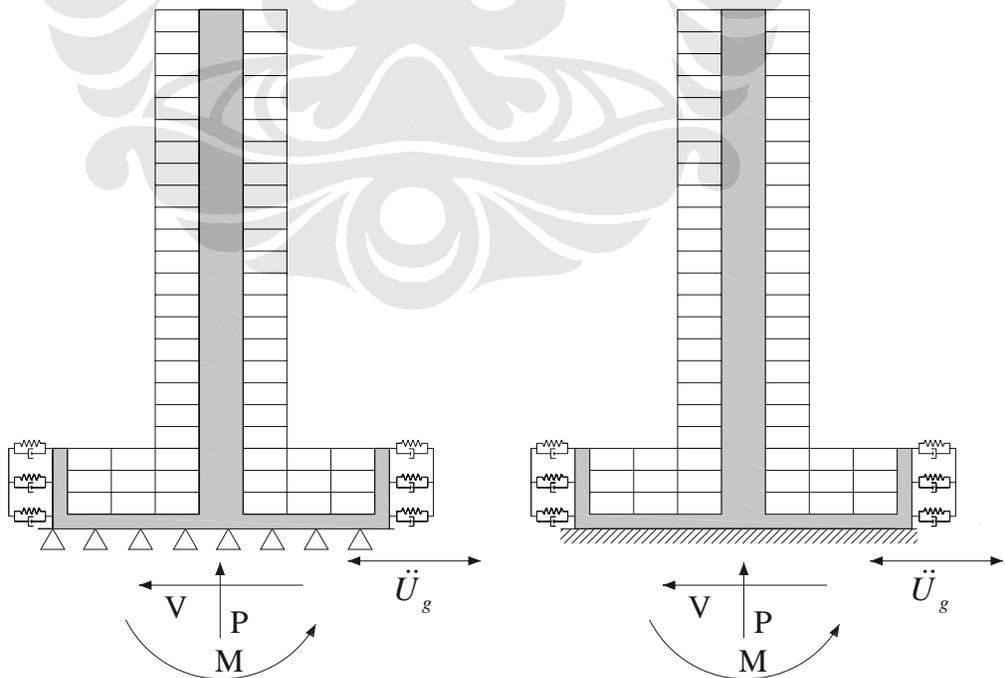
a)

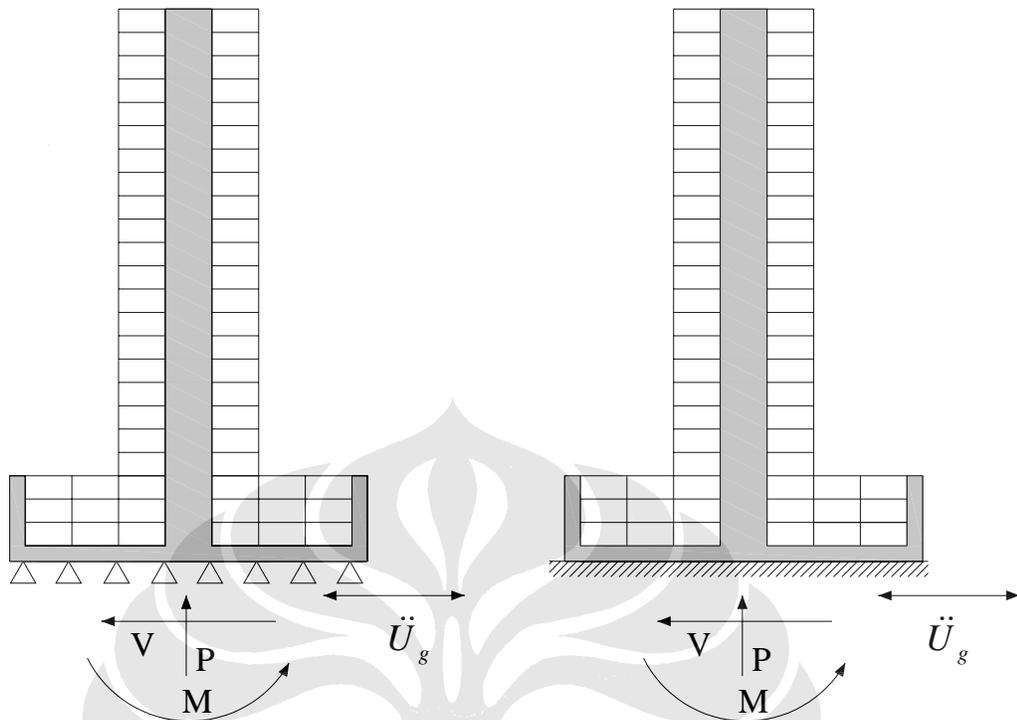


b)



c)

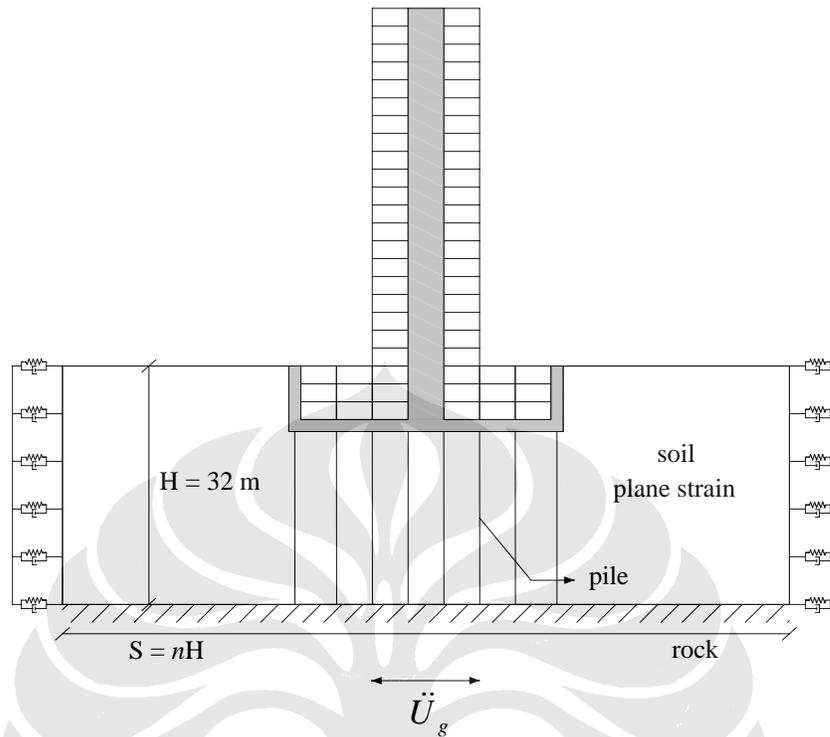




**Gambar 4.3.** a) Struktur jepit pada lantai besemen 1, b) Struktur jepit pada lantai besemen 2, c) Perletakan pada lantai besemen 3

#### 4.2.3. Pemodelan Sistem Tanah-Struktur Secara Utuh

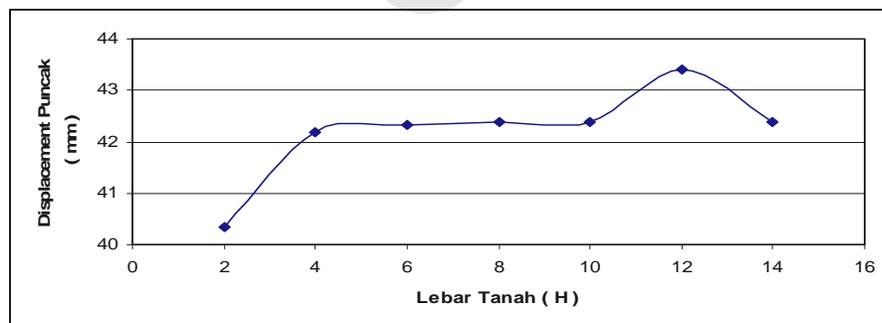
Pemodelan ini mempunyai tujuan untuk mendekati kondisi real dari peristiwa perambatan gelombang energi gempa dari batuan dasar ke tanah di atasnya dan kemudian ke dalam struktur. Hasil respon dari pemodelan ini akan dibandingkan dengan hasil respon dari pemodelan yang sebelumnya untuk mengetahui besar perbedaannya. Tanah dimodelkan dengan elemen *plane strain* untuk kedalaman tanah dari batuan dasar H dan bentang tanah S seperti terlihat pada gambar 4.4. berikut ini :



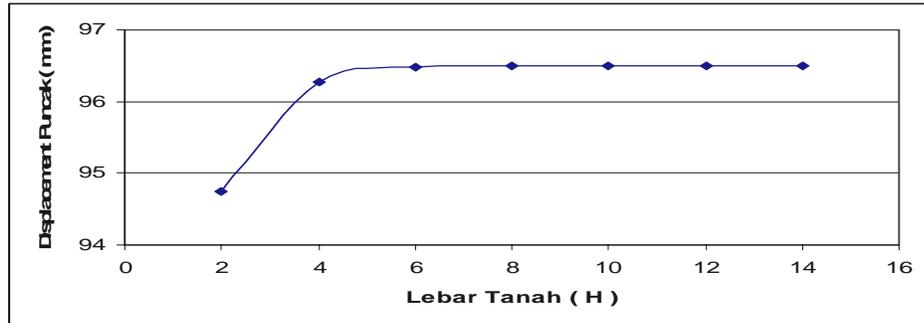
**Gambar 4.4.** Sistem struktur-tanah dengan pile

Bentang pemodelan tanah (  $S$  ) ditentukan dengan mencari tahu terlebih dahulu respon *displacement* puncak struktur yang maksimum untuk variasi nilai  $n$ , mulai dari 2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14 kali nilai  $H$ . Respon displacement untuk masing-masing variasi disajikan pada grafik berikut ini :

**Grafik 4.5.a.** Respon displacement untuk 10 lantai



**Grafik 4.1.b.** Respon displacement untuk 20 lantai



Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa respon displacement mulai stabil nilainya pada  $n = 8$ . Dengan demikian, pada pemodelan 4 digunakan bentang tanah  $S = 8H$ .

#### 4.3. OUTPUT PEMODELAN

Dari pemodelan yang dilakukan, hasil yang akan diperoleh dan dievaluasi adalah :

1. Periode dan displacement puncak struktur
2. Gaya geser struktur
3. Momen guling struktur

Akan tetapi, agar hasil output dari pemodelan yang berbeda-beda dapat dibandingkan, maka output di atas diperhitungkan dengan cara :

1. Displacement puncak struktur diperhitungkan relatif terhadap lantai dasar
2. Membagi gaya geser struktur dengan berat gempa struktur ( $W_{gempa}$ ), disebut rasio gaya geser dalam persen
3. Membagi momen guling struktur dengan mengalikan tinggi struktur dari penjepitannya dengan berat gempa struktur ( $W_{gempa} \times H$ ), disebut rasio momen guling dalam persen
4. Membandingkan rasio gaya geser dasar kasus dinamik dengan rasio gaya

geser dasar kasus statik, yaitu  $\frac{V_{base}}{W_{gempa}} = \frac{CI}{R}$ . Nilai  $C$  didapat dengan melihat

grafik respon spectrum SNI wilayah gempa 3, dengan mengacu pada nilai periode mode pertama ( $T_1$ ) dari output SAP dari masing-masing struktur.

Untuk memudahkan menganalisa, maka output akan disajikan dalam bentuk grafik dan diagram, dimana masing-masing pemodelan memiliki indeks sebagai berikut :

### **Struktur Atas**

#### **Pemodelan 1 dan Pemodelan 3:**

( 1A )            Struktur jepit di level muka tanah ( lantai dasar )

#### **Pemodelan 2 :**

( 2A1 )            Struktur jepit di B1, tanah sebagai pegas-redaman

( 2A2 )            Struktur jepit di B2, tanah sebagai pegas-redaman

( 2A3JDT )        Struktur jepit di B3, tanah sebagai pegas-redaman

( 2A3JTT )        Struktur jepit di B3, tanah tidak dimodelkan

( 2A3SDT )        Struktur sendi di B3, tanah sebagai pegas-redaman

( 2A3STT )        Struktur sendi di B3, tanah tidak dimodelkan

#### **Pemodelan 4 :**

( 4A )            Struktur ditopang borepile yang menyentuh pada tanah keras ( dimodelkan sebagai jepit ), tanah dimodelkan dengan plane strain.

### **Struktur Bawah**

#### **Pemodelan 1 :**

( 1BJ )            Basement jepit di B3

( 1BS )            Basement sendi di B3

#### **Pemodelan 2 :**

( 2B3JDT )        Struktur jepit di B3, tanah sebagai pegas-redaman

( 2B3JTT )        Struktur jepit di B3, tanah tidak dimodelkan

Pemodelan 3 :

- ( 3BJ ) Struktur jepit di lantai dasar, gempa pada basement berupa tekanan tanah
- ( 3BS ) Struktur sendi di lantai dasar, gempa pada basement berupa tekanan tanah

Pemodelan 4 :

- ( 4B ) Struktur ditopang borepile yang menyentuh pada tanah keras ( dimodelkan sebagai jepit ), tanah dimodelkan dengan plane strain.

