BAB III

LANDASAN TEORI

Landasan teori adalah teori untuk pemecahan masalah yang bersifat kualitatif dan kuantitatif, misalnya persamaan matematika, rumus, bagan alir, yang terhimpun dalam sebuah metode untuk pemecahan masalah. Bab ini berisi tentang struktur bangunan bertingkat tinggi tahan gempa, pengaruh deformasi tanah, dan simpangan serta gaya-gaya dalam pada struktur dinding geser dari penelitian yang akan dijelaskan dibawah ini.

3.1 Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi Tahan Gempa

Beban gempa umumnya terjadi pada jenis struktur bangunan bertingkat banyak dan mempunyai balok yang relatif pendek. Pada bentang balok tersebut, momem balok dan kolom akibat dominasi beban gempa adalah yang sangat berpengaruh. Karena itu beban gempa merupakan salah satu beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan suatu bangunan, karena beban gempa tersebut dapat menimbulkan kerusakan struktur terutama pada bangunan tinggi yang berada di wilayah rawan gempa.

3.1.1 Gaya geser gempa dasar (V)

Gaya geser dasar adalah gaya geser yang bekerja pada dasar bangunan yang besarnya ditentukan oleh persamaan berikut,

$$V = C.I.K.W_t \tag{3.1}$$

dengan : C = koefisien gempa dasar,

I = faktor keutamaan gedung,

K = faktor jenis gedung, dan

W_t = berat total struktur.

3.1.2 Koefisien gempa dasar (C)

Koefisien gempa dasar berfungsi untuk menjamin agar stuktur mampu memikul beban gempa yang menyebabkan kerusakan pada srtuktur. Koefisien C tergantung pada frekwensi terjadinya gerakan tanah yang berbeda-beda pada tiap wilayah gempa, waktu getar alami struktur, dan kondisi tanah setempat.

Koefisien gempa dasar dapat ditentukan sesuai dengan wilayah gempa dimana bangunan berada, dengan memakai waktu getar alami struktur. Untuk struktur " *Frame Wall* ", rumus pendekatan untuk mencari waktu getar alami struktur dengan dukungan jepit sempurna (terkekang penuh) yakni,

$$T = \frac{0{,}09.Hn}{\sqrt{B}} \tag{3.2}$$

dengan : T = waktu getar alami struktur,

H_n = Tinggi struktur permukaan yang dikekang, dan

B = lebar bangunan.

Menurut Wolf (1985) yang dikemukakan oleh Dowrick (1987), periode getar efektif struktur dengan memperhitungkan pengaruh tanah dukungan ($\hat{T}$) adalah

$$\hat{T} = T.\sqrt{\left(1 + \frac{k}{k_x}.\left(1 + \frac{k_x.\hat{h}^2}{k_\theta}\right)\right)} \tag{3.3}$$

dengan : $$k = \frac{4.\pi^2.\hat{W}}{g.T^2} \quad (3.4)$$

$$k_\theta = \frac{G.\beta_\theta.B.L^2}{1-v} \quad (3.5)$$

$$k_x = 2.G.(1+v).\beta_x.\sqrt{B.L} \quad (3.6)$$

$$G = \frac{E}{\{2.(1+v)\}} \quad (3.7)$$

dimana : T = periode getar alami pada struktur yang terkekang,

k = kekakuan struktur ketika dukungan terkekang,

k_x = kekakuan horizontal dukungan,

k_θ = kekakuan rotasi dukungan,

$\hat{h}$ = tinggi efektif struktur (0.7 x h),

$\hat{W}$ = berat efektif struktur (0.7 x W),

G = modulus geser tanah,

E = modulus elastisitas tanah,

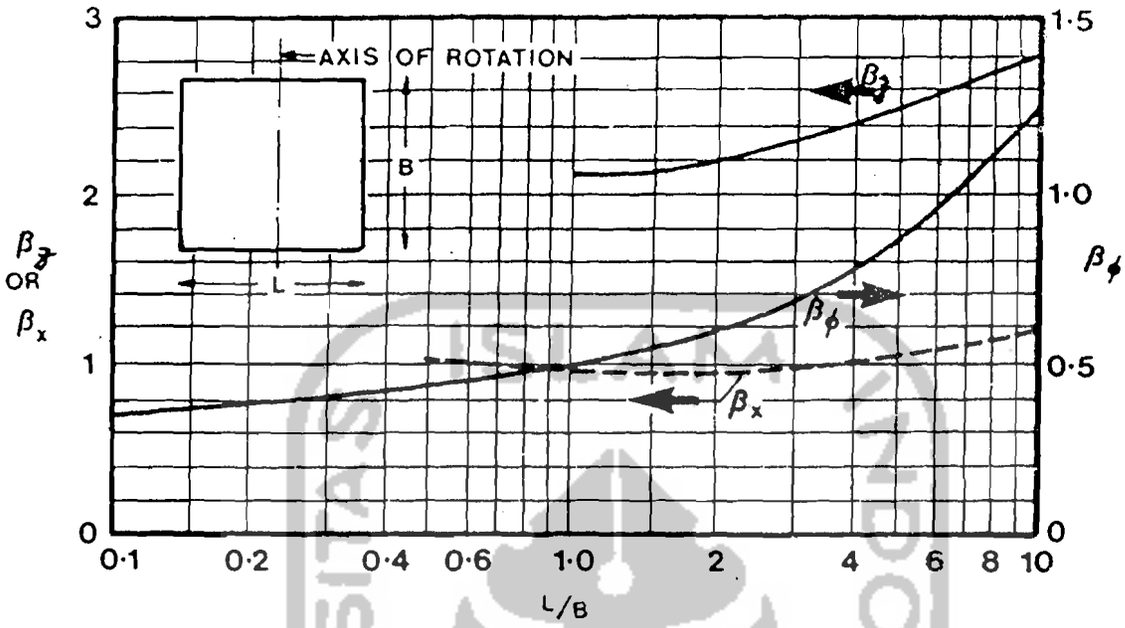
v = *poison's ratio,*

B,L = dimensi pondasi, dan

β_θ, β_x= koefisien dari rasio B/L (Gambar 3.1).

3.1.3 Faktor keutamaan gedung (*I*)

Tingkat kepentingan suatu struktur tehadap bahaya gempa yang berbeda-beda tergantung pada fungsi bangunannya. Semakin penting fungsi bangunan semakin besar perlindungan yang harus diberikan. Faktor keutamaan gedung ini dipergunakan untuk memperbesar beban gempa rencana agar struktur dapat memikul beban gempa dengan perioda ulang yang panjang.



Gambar 3.1 Koefisien β_x, β_z, dan β_θ untuk pondasi persegi (Whitman, 1967)

3.1.4 Faktor jenis struktur (*K*)

Faktor jenis struktur (*K*) dimaksudkan agar struktur mempunyai kekuatan lateral yang cukup untuk menjamin daktilitas yang dituntut tidak lebih besar dari daktilitas yang tersedia pada saat terjadi gempa. Semakin tinggi nilai *K*, maka semakin rendah kemampuan daktilitasnya.

3.1.5 Berat bangunan (W_t)

Berat bangunan (W_t) merupakan berat total dari seluruh struktur bangunan yang direncanakan ditambah dengan beban hidup.

Gaya geser yang didistribusikan pada masing-masing lantai tingkat, dihitung dengan rumus,

$$Fi = \frac{Wi.hi}{\sum Wi.hi}.V \qquad (3.8)$$

dengan syarat : $H/B < 3$, maka gaya geser horizontal didistribusikan sesuai tinggi, dan

$H/B > 3$, maka 10 % dari gaya geser yang bekerja pada lantai puncak dan 90 % didistribusikan keseluruh tingkat.

3.2 Pengaruh Deformasi Tanah

Analisis struktur umumnya menganggap dukungan adalah jepit penuh. Anggapan ini juga berarti bahwa tanah dibawah pondasi adalah suatu material yang kaku dan menjepit penuh bangunan atas sehingga antara tanah dan pondasi bangunan seolah-olah menjadi satu kesatuan yang kaku, sehingga dengan anggapan ini gelombang energi gempa dari tanah langsung mengenai struktur atas dan semua energi akan diserap oleh struktur atas (Widodo, 1998). Deformasi horisontal struktur maksimum (u_T) yang dihasilkan adalah,

$$u = u_o. \qquad (3.9)$$

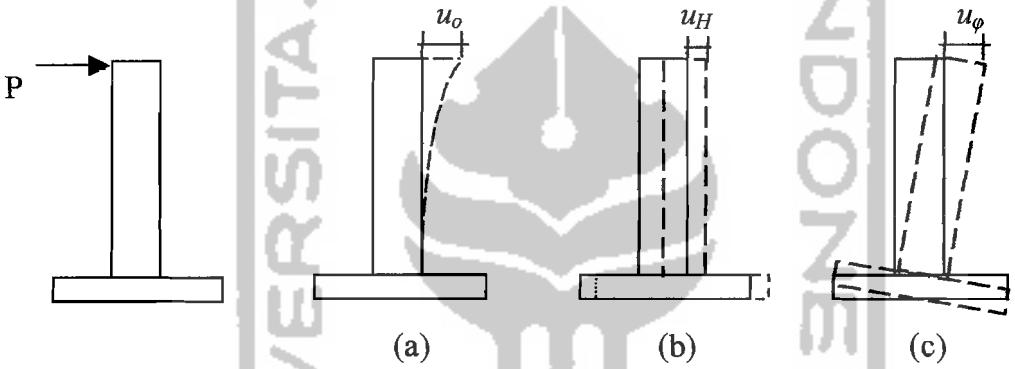
dimana u_o adalah deformasi lateral.

Secara umum dapat dikatakan bahwa tanah bukanlah suatu material yang kaku tetapi memiliki fleksibilitas. Kondisi seperti ini gelombang energi gempa tidak langsung mengenai bangunan atas, tetapi dari tanah dasar gelombang gempa akan melewati pondasi bangunan sebagai suatu interaksi antara tanah dan pondasi. Sehingga sebagian dari gelombang energi gempa akan dipantulkan lagi kedalam tanah. Deformasi horisontal struktur maksimum (u_T) yang dihasilkan terdiri dari 3

komponen deformasi, yakni deformasi lentur, horisontal dan deformasi akibat rotasi pondasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat rumus,

$$u_T = u_o + u_H + u_\varphi \,, \qquad (3.10)$$

dimana u_H adalah deformasi horizontal (Gambar 3.2.b) dan u_φ adalah deformasi akibat rotasi pondasi (Gambar 3.2.c). Biasanya $u_\varphi >> u_H$ (Scarlat, 1996 : 43). Rotasi pondasi dapat mempengaruhi simpangan dan juga periode getar struktur (Widodo, 1998).



Gambar 3.2 Deformasi Struktur ;(a) deformasi lentur, (b) deformasi geser, (c) deformasi akibat rotasi pondasi.

3.3 Jenis-jenis Simpangan

Jenis-jenis simpangan yang terjadi pada stuktur umumnya ada 3 macam, yaitu simpangan relatif, simpangan absolut, dan simpangan antar tingkat. Jenis-jenis simpangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan akan diuraikan sebagai berikut ini.

1. Simpangan relatif.

Simpangan relatif adalah simpangan suatu massa yang diperoleh dari menjumlahkan simpangan antar tingkat dengan tidak menyertakan pergeseran dukungan akibat pengaruh tanah.

$$y_i = \sum \Delta y_i \tag{3.11}$$

dimana : y_i = simpangan relatif lantai i, dan

Δy = simpangan antar tingkat.

2. Simpangan absolut.

Simpangan absolut merupakan penjumlahan antara simpangan relatif tiap lantai dengan simpangan akibat tanah. Simpangan absolut dihitung dengan rumus:

$$y_t = y_i + y_g \tag{3.12}$$

dimana : y_t = simpangan absolut,

y_i = simpangan relatif lantai ke-i, dan

y_g = simpangan akibat tanah.

Simpangan absolut memiliki pengaruh terhadap kemungkinan terjadinya benturan antara bangunan yang berdekatan (*structural pounding*). *Structural pounding* ini dapat menyebabkan kerusakan yang fatal pada bangunan bahkan dapat menyebabkan kerusakan total, oleh karenanya *structural pounding* ini perlu diperhatikan agar dapat memaksimalkan penggunaan lahan.

3. Simpangan antar tingkat.

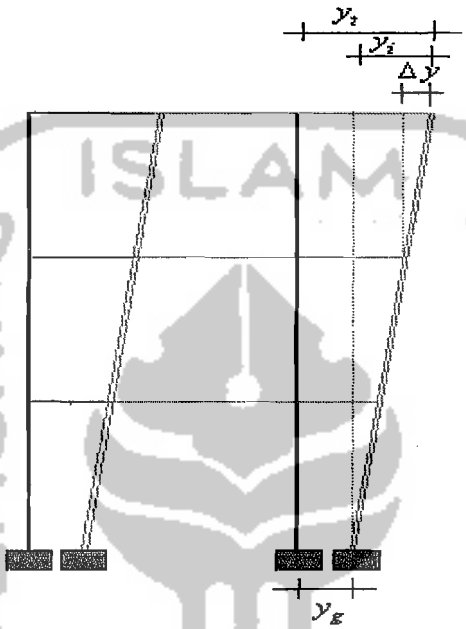
Simpangan antar tingkat adalah simpangan yang terjadi pada tiap tingkat, simpangan ini dihitung dengan cara simpangan absolut lantai atas dikurangi simpangan absolut dibawahnya. Simpangan antar tingkat yang berlebihan sangat mungkin terjadi pada tingkat yang lemah. Terjadinya distribusi kekakuan struktur secara vertikal yang tidak merata akan menyebabkan adanya suatu tingkat yang lemah tersebut. Simpangan antar tingkat dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta y = y_t + y_{t-1} \tag{3.13}$$

dimana : Δy = simpangan antar tingkat,

y_i = simpangan absolut lantai ke-*i*,

y_{i-1} = simpangan absolut lantai ke-*i-1*..



Gambar 3.3 Model struktur dengan jenis-jenis simpangan

3.4 Gaya Dalam Rencana Balok Penghubung Dinding Geser

Kuat lentur perlu bagi balok penghubung dinding geser yang dinyatakan oleh momen lentur perlu $M_{u,b}$, harus ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan tanpa atau dengan beban gempa, yakni :

$$M_{u,b} = 1{,}2\, M_{D,b} + 1{,}6\, M_{LR,,b}\,, \qquad (3.14a)$$

$$M_{u,b} = 1{,}05\,(M_{D,b} + M_{LR,b} + M_{E,b}), \qquad (3.14b)$$

$$M_{u,b} = 0{,}9\,(M_{D,b} + M_{E,b}), \qquad (3.14c)$$

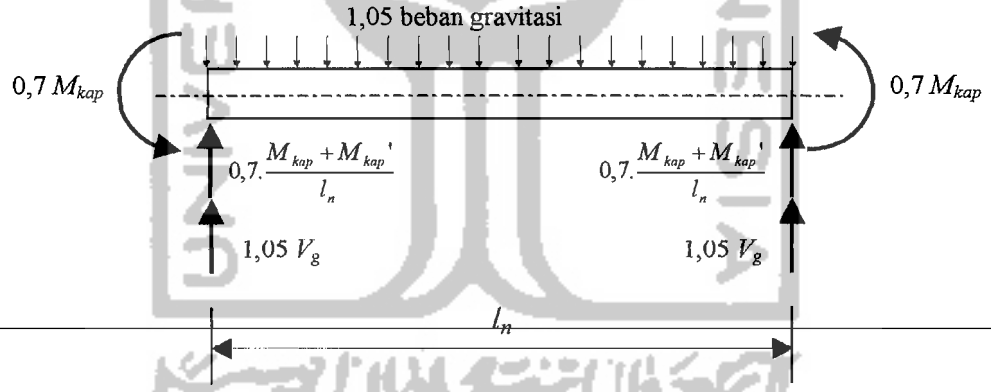
dimana : $M_{D,b}$ = momen lentur balok portal akibat beban mati tak berfaktor,

$M_{LR,b}$ = momen lentur balok portal akibat beban hidup tak berfaktor dengan memperhitungkan reduksinya, dan

$M_{E,b}$ = momen lentur balok portal akibat beban gempa tak berfaktor.

Sesuai dengan konsep desain kapasitas, kuat geser balok portal yang dibebani oleh beban gravitasi sepanjang bentangnya harus dihitung dalam kondisi terjadi sendi-sendi plastis pada kedua ujung balok portal tersebut, dengan tanda yang berlawanan (positif dan negatif), menurut persamaan berikut (lihat pula Gambar 3.4) :

$$V_{u,b} = 0{,}7.\phi_0.\left(\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b}'}{l_n}\right) + 1{,}05.V_g \qquad (3.15)$$



Gambar 3.4 Gaya geser rencana balok.

dimana : $M_{nak,b}$ = momen nominal aktual pada ujung balok,

$M_{nak,b}'$ = momen nominal aktual pada ujung balok lainnya,

ϕ_o = faktor penambahan kekuatan yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk fy < 400 Mpa, dan 1,40 untuk fy > 400 Mpa,

l_n = panjang bentang bersih balok, dan

V_g = geser akibat beban gravitasi,

tetapi tidak perlu lebih besar dari

$$V_{u,b} < 1{,}05.\left(V_{D,b} + V_{LR,b} + \frac{4}{K}.V_{E,b}\right) \qquad (3.16)$$

dimana : $V_{D,b}$ = gaya geser akibat beban mati,

$V_{LR,b}$ = gaya geser akibat beban hidup dengan memperhitungkan reduksinya,

$V_{E,b}$ = gaya geser akibat beban gempa, dan

K = faktor jenis struktur.

3.5 Perencanaan Dinding Geser Kopel

Peristiwa tekuk pada dinding geser dapat dihindari dengan memakai elemen pembatas (*boundary element*) yang berfungsi untuk mengakukan dinding geser. Menurut SK-SNI-T-15-1991-03, elemen pembatas diperlukan bila pada dinding geser dimana tegangan akibat gaya terfaktor termaksud pengaruh gempa pada serat terluar mencapai nilai maksimum dan melampaui nilai 0,2 $f'c$ (Yayasan LPMB, 1991).

Dinding geser kopel adalah dinding geser yang dihubungkan oleh balok yang pendek dan juga merupakan penahan gempa yang efektif dengan kekegaran yang besar. Dalam perhitungan analisis struktur, dinding geser kopel dianggap menjadi portal ekivalen (lihat Gambar 4.2).

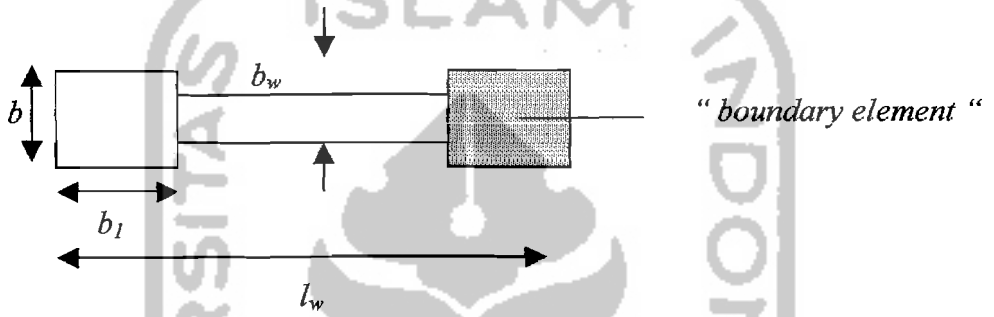
3.5.1 Stabilitas dinding geser

Stabilitas dinding geser sangat perlu untuk menjamin kestabilan dinding geser dalam menerima beban. Jika tidak dilakukan peninjauan terhadap stabilitas dinding geser maka sangatlah mungkin dinding geser runtuh sebelum mengalami

regangan plastis yang disebut kegagalan prematur. Langkah-langkah untuk mengontrol stabilitas struktur sebagai berikut.

1. Batasan dimensi dinding geser untuk menghindari terjadinya tekuk pada dinding geser, maka tebal dinding geser diambil

$$b_w = \frac{h_s}{20} \geq 150mm \qquad (3.17)$$



2. Panjang total dinding geser (l_w),

$$\frac{h_w}{l_w} \leq 9 \qquad (3.18)$$

3. Dimensi " *boundary element* ",

jika b $\geq b_w$, maka $b_1 \geq \frac{b_c . l_w}{10.b}$ (3.19a)

jika b $\geq b_c$, maka $b_1 \geq \frac{b_c^2}{b}$ (3.19b)

jika $b \geq h_s$ /16, maka $b_1 \geq h_s$ / 16, (3.19c)

dengan

$b_c = 0{,}017.l_w.\sqrt{\mu\phi}$ jika digunakan 2 lapis tulanggan, (3.20a)

$b_c = 0{,}022.l_w.\sqrt{\mu\phi}$ jika digunakan 1 lapis tulanggan, (3.20b)

dimana : h_w = tinggi bangunan total,

h_s = tinggi tingkat pertama,

b_c = ketebalan dinding geser kritis, dan

$\mu\phi$ = perbandingan rasio daktilitas.

Dari persamaan (3.19) diambil nilai b dan b_1 yang terbesar.

4. Kontrol luas "*boundary element*" yang terjadi (A_{wb}).

$$A_{wb} \geq \frac{b_c . l_w}{10} \text{ atau } A_{wb} \geq b_c^2 \qquad (3.21)$$

3.5.2 Perencanaan lentur dinding geser

Tulangan lentur berfungsi menahan tegangan tarik yang terjadi akibat momen lentur. Tulangan lentur terdapat pada bagian elemen pembatas (*boundary element*) dinding geser. Pemasangan tulangan lentur pada bagian elemen pembatas selain memperhatikan beban juga kemampuan dalam menyerap energi bila terjadi sendi plastis.

Kuat lentur perlu bagi dinding geser yang dinyatakan oleh momen lentur perlu $M_{u,w}$, harus memenuhi persaratan lentur untuk kondisi pembebanan tanpa gempa maupun dengan beban gempa, yakni :

$$M_{u,w} = 1{,}2\, M_{D,w} + 1{,}6\, M_{L,w}, \qquad (3.22a)$$

$$M_{u,w} = 1{,}05\, (M_{D,w} + M_{LR,w} + M_{E,w}), \qquad (3.22b)$$

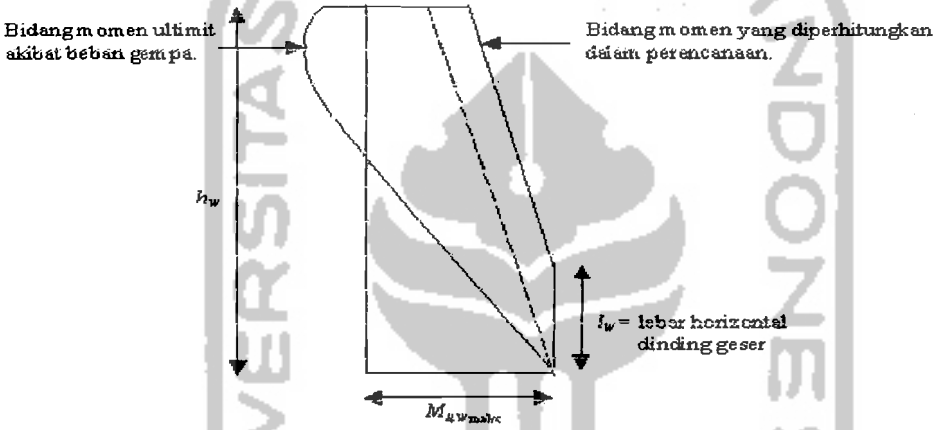
$$M_{u,w} = 0{,}9\, (M_{D,w} + M_{E,w}), \qquad (3.22c)$$

dimana : $M_{D,w}$ = momen lentur dinding akibat beban mati,

$M_{LR,w}$ = momen lentur dinding akibat beban hidup dengan memperhitungkan reduksinya, dan

$M_{E,w}$ = momen lentur dinding akibat beban gempa.

Untuk menjamin agar saat terjadi gempa kuat dinding geser tetap berperilaku elastis kecuali pada penampang dasar dimana sendi plastis dapat terbentuk, maka bidang momen akibat beban gempa harus digeser keatas sejauh lebar horizontal dinding geser (Paulay, 1986), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. bidang momen yang telah dimodifikasi ini selanjutnya dipakai untuk menghitung kuat lentur perlu menurut persamaan 3.26.



Gambar 3.5 Bidang momen dinding geser akibat beban gempa yang diperhitungkan dalam perancangan.

Perencanaan lentur dinding geser terdiri dari 5 langkah sebagai berikut.

1. Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan (ρ),

$$\rho_b = \frac{0{,}85.f'_c}{f_y}\beta_1\frac{600}{600+f_y} \tag{3.23a}$$

$$\rho_{maks} = 0{,}75.\rho_b\,, \tag{3.23b}$$

$$\rho_{min} = 1{,}4/f_y\,, \tag{3.23c}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}.\left\{1-\sqrt{\left(1-\frac{2.m.R_n}{f_y}\right)}\right\} > \rho_{min} \tag{3.23d}$$

dengan

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f'_c} \tag{3.24}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d^2} \tag{3.25}$$

dimana β_1 adalah konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton.

2. Menghitung luas tulangan tarik yang dibutuhkan berdasarkan rumus

$$A_{s\,perlu} = \rho_{perlu}.b_w.\,d\,. \tag{3.26}$$

3. Penulangan sengkang pada *boundary element*

$$\rho_s = 0{,}12.\left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \tag{3.27}$$

$$\rho_s = 0{,}3.\left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right).\frac{f'_c}{f_y} \tag{3.28}$$

rasio penulangan untuk kedua persamaan diambil nilai yang terbesar.

3.5.3 Perencanaan geser dinding geser

Kuat geser perlu bagi dinding geser pada penampang dasar sehubungan dengan adanya perbesaran dinamik sewaktu struktur berespon inelastik terhadap gempa kuat, maka untuk desain geser ini dihitung dengan persamaan dibawah ini,

$$V_u = V_{wall} = \omega_N.\phi_0.\,V_E \tag{3.29}$$

dengan : $\omega_N = 0{,}1.N + 0{,}9$ $\quad N \leq 5$ (3.30)

$\omega_N = \omega_5 + (N - 5).(\,\omega_{15} - \omega_5)/\,10$ $\quad 5 < N < 15$ (3.31)

$\omega_N = 1{,}8$ $\quad N > 15$ (3.32)

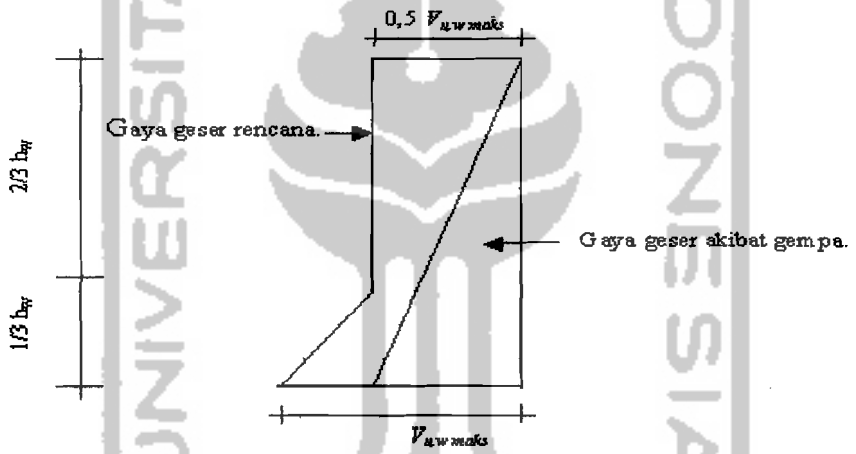
dimana : V_{wall} = gaya geser rencana dinding,

V_E = gaya geser akibat gempa tak berfaktor pada penampang dasar,

ω_N = faktor pembesaran dinamik, dan

ϕ_0 = faktor penambahan kekuatan yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk fy < 400 Mpa, dan 1,40 untuk fy > 400 Mpa.

Untuk menjamin agar dinding geser memiliki kuat geser yang cukup sepanjang tinggi dinding, maka bidang gaya geser perlu akibat beban gempa sepanjang tinggi dinding harus dimodifikasi, sehingga berjalan linier dari $V_{u,w\,maks}$ pada dasar sampai 0,5 $V_{u,w\,maks}$ pada 1/3 tinggi dinding geser, dan nilainya tetap sebesar 0,5 $V_{u,w\,maks}$ sampai puncak dinding geser (lihat Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Gaya geser dinding geser akibat beban gempa yang diperhitungkan dalam perancangan.

Dasar-dasar perencanaan penampang dinding geser akibat geser menurut pedoman SK SNI T 15-1991-03 dan ACI harus didasarkan pada:

$$V_u \leq \phi . V_n , \qquad (3.33)$$

dengan :

$$V_n = V_c + V_s , \qquad (3.34)$$

dimana: V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau,

V_n = kuat geser horisontal, dan

ϕ = 0,6.

Menurut Dowrick (1987: 309) geser minimum beton V_c diambil nilai yang terkecil berdasarkan persamaan serbagai berikut,

$$V_{c1} = 0{,}25.\sqrt{f'_c}.b_w.d + \left(\frac{N_u}{4.l_w}\right) \tag{3.35}$$

$$V_{c2} = \left\{\frac{f'_c}{20} + \frac{l_w.\left(\sqrt{f'_c} + \frac{2.N_u}{l_w.b_w}\right)}{10.\left(\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}\right)}\right\}.b_w.d \tag{3.36}$$

dimana ; N_u = gaya aksial terfaktor, dan

M_u = momen rencana terfaktor.

Kekuatan geser nominal V_s dari tulangan horisontal adalah:

$$V_s = \frac{A_v.f'_c.d}{S_2} \tag{3.37}$$

dengan :

$$A_v = \frac{(V_u - (\phi.V_c)).S_2}{\phi.f_y.d} \tag{3.38}$$

dimana; A_v = luas tulangan geser horisontal, dan

S_2 = jarak vertikal antara tulangan horisontal.

Pada daerah sendi plastis yakni sejauh $2h$ dari muka kolom kontribusi beton dalam menahan geser diabaikan (V_c = 0), dengan tujuan untuk pencapaian suatu elemen yang daktail.

Harga perbandingan minimum yang diijinkan untuk tulangan geser horisontal terhadap luas beton bruto penampang vertikal adalah:

$$\rho_h = \frac{A_V}{A_g} \geq \rho_{min} \text{ ,dan} \tag{3.39}$$

rasio penulangan geser dalam arah vertikal berlaku:

$$\rho_n = 0{,}0025 + 0{,}5\ \ 2{,}5 - (h_i / l_w)\ \ (\rho_b - 0{,}0025) \geq \rho_{min} \tag{3.40}$$

3.6 Hipotesis

Berdasarkan landasan teori diatas, dapat ditarik hipotesis dari perbandingan pengekangan jepit dan jepit fleksibel pada struktur dinding geser kopel sebagai berikut.

1. Simpangan yang terjadi akan lebih besar bila analisis menyertakan pengaruh tanah (jepit fleksibel) sebab simpangan yang terjadi bukan hanya akibat deformasi lentur dinding melainkan juga disebabkan oleh deformasi tanah.
2. Gaya-gaya dalam pada struktur dengan dukungan jepit fleksibel akan lebih kecil dibanding pada struktur dengan dukungan jepit, sebab tinjauan dengan adanya rotasi pondasi akan memperbesar periode getar struktur. Dengan besarnya periode getar struktur, gaya geser dasar yang terjadi akan lebih kecil.