

2. LANDASAN TEORI

2.1. Konsep Desain Dinding Geser

Gaya yang dipikul pada elemen dinding geser adalah gaya lateral dan juga gaya aksial akibat beban yang berada di atasnya. Hal ini membuat dinding geser harus memiliki ketahanan terhadap kegagalan gaya aksial, gaya lentur, serta gaya geser baik pada pondasi, maupun pada elemen struktur dinding geser itu sendiri. Prinsip desain aksial dan lentur dari elemen dinding geser mirip dengan elemen struktur kolom. Dalam mendesain dinding geser insinyur struktur dapat menggunakan pendekatan/*simplified method sebagai preliminary* dalam mendesain struktur dinding geser. Metode *simplified* ini tetap dapat digunakan mengingat metode ini menggunakan cara yang lebih sederhana dengan beberapa pendekatan yang lebih aman jika didesain dengan asumsi yang tepat. Desain *simplified method* ini menggunakan asumsi bahwa kekuatan dinding dalam menahan momen terkontrol oleh *tensile yielding* dari tulangan longitudinal. Selain itu metode ini juga menggunakan aproksimasi panjang lengan momen (Moehle, 2014). *Preliminary* desain yang dihasilkan oleh cara pendekatan/*simplified method* ini tetap bisa digunakan dengan mendapat hasil desain yang aman dan memiliki kekuatan lebih jika didesain dengan asumsi yang tepat dari pihak insinyur struktur.

Sementara itu jika insinyur struktur ingin menggunakan desain dinding geser secara akurat, maka dinding geser didesain dengan menggunakan asumsi bahwa seluruh gaya aksial dan lateral yang dipikul oleh dinding geser akan bekerja layaknya kolom. Gaya aksial dan lentur yang bekerja pada elemen yang sama akan berkaitan terhadap kekuatannya yang digambarkan dengan grafik *P-M curve*. Pada grafik tersebut dapat dilihat adanya pengaruh kekuatan aksial terhadap kekuatan lentur suatu elemen. Perbedaan prinsip kolom dan shear wall terletak pada rasio penampang dimana kolom memiliki rasio lebar dan panjang yang tidak terlalu jauh, sementara rasio lebar dan panjang dinding geser sangat besar. Perbedaan yang lain adalah elemen kolom yang mampu memikul aksial dan lentur 2 arah (*biaxial bending*) tidak berlaku untuk elemen dinding geser yang hanya memiliki 1 sumbu kuat saja, sehingga kekuatan dari dinding geser hanya pada grafik *P-M curve* pada 1 sumbu yaitu sumbu yang kuat. Metode akurat ini sangat baik untuk digunakan namun dalam mendesain dinding geser akan memakan banyak waktu untuk dikerjakan dan akan menjadi tantangan dalam penelitian ini.

2.2. Optimization Constraints

Constraint adalah bagian dari proses optimasi dimana dalam proses ini semua input parameter yang kita masukan akan disaring dengan syarat-syarat/*constraint* yang berlaku, sebelum memberikan hasil *output* yang sesuai. Hasil desain struktur dinding geser harus memenuhi kelima *constraint* yang dapat dilihat pada Tabel 2.1. Dalam optimasi shear wall ini, faktor *constructability* seperti tebal dan panjang dinding geser dapat diatur pada *upper bound* dan *lower bound* algoritma optimasi, sehingga tidak menjadi *constraint*.

Tabel 2.1.

Constraint penelitian

<i>Constraint</i>	Persyaratan Desain
g1	Kapasitas dinding
g2	Rasio penulangan minimum
g3	Simpangan antar tingkat
g4	Spasi tulangan
g5	Lebar sayap

2.2.1 Kapasitas Dinding (g1)

Pada *constraint* kapasitas dinding, elemen dinding geser akan di idealisasi sebagai jepit sempurna pada perletakan dan akan menerima gaya aksial, geser, dan momen *ultimate* pada dasar dinding geser. Kapasitas dinding geser dalam memikul gaya tersebut dapat dirumuskan kedalam Persamaan 2.1-2.3.

$$g1 = \phi P_n \geq P_u \quad (2.1)$$

$$g1 = \phi V_n \geq V_u \quad (2.2)$$

$$g1 = \phi M_n \geq M_u \quad (2.3)$$

dimana:

P_n = Kapasitas tekan nominal kolom (N)

P_u = Gaya tekan *ultimate* (N)

V_n = Kapasitas geser nominal kolom (N)

V_u = Gaya geser *ultimate* (N)

M_n = Kapasitas momen nominal kolom (Nmm)

M_u = Gaya momen *ultimate* (Nmm)

ϕ = Faktor reduksi

Penelitian ini akan mendesain dinding struktural dengan mengacu pada peraturan SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Serta menggunakan peraturan pembebanan gempa sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Proses mendesain dinding geser dibagi menjadi 2 bagian utama yaitu mendesain tulangan transversal dan tulangan longitudinal.

2.2.1.1. Kapasitas Geser Dinding Struktural

Desain penulangan transversal pada dinding geser ditinjau baik pada badan maupun pada area elemen khusus atau sayap bila memang diperlukan. Berikut adalah langkah-langkah yang dapat digunakan untuk menentukan desain tulangan transversal secara optimal:

- Menentukan dimensi penampang dinding geser. Elemen struktur yang dapat disebut sebagai elemen dinding, jika rasio dari dimensi lebar per panjang penampang tersebut bernilai kurang dari 0.4. Walaupun SNI 2847:2019 tidak secara spesifik mengatur ketebalan minimum dari dinding geser, untuk alasan praktikal ketebalan minimal dinding struktural adalah 200mm. Dan penebalan pada area ujung dinding minimal sebesar 300mm jika memang diperlukan (Moehle, et al., 2011).
- Tulangan longitudinal wajib diberi 2 lapis tulang jika memenuhi salah satu dari Persamaan 2.4-2.5.

$$h_w/l_w \geq 2 \quad (2.4)$$

$$V_u > (\frac{1}{6})A_{cv}\sqrt{f_c'} \quad (2.5)$$

- Nilai geser *ultimate* V_u yang diperoleh dari analisis beban lateral harus diperbesar dengan faktor ϕ_o dimana nilai ϕ_o merupakan perbandingan antara kapasitas momen nominal dinding geser per momen *ultimate* yang terjadi.
- Kuat geser nominal tidak boleh melebihi Persamaan 2.6.

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} + \rho_t f_y) \quad (2.6)$$

dimana:

V_n = Kuat geser nominal *max* (N)

A_{cv} = Luas *web* (mm²)

α_c = bernilai $\frac{1}{6}$ jika $h_w/l_w \geq 2$, dan bernilai $\frac{1}{4}$ jika $h_w/l_w \leq 1.5$

λ = faktor modifikasi, bernilai 1 untuk beton normal dan 0.75-0.85 untuk beton ringan

f_c' = Mutu beton (MPa)

ρ_t = Rasio tulangan transversal/luas beton

f_y = Mutu Baja (MPa)

- e. Penentuan komponen batas pada ujung terluar penampang dinding geser. Komponen batas khusus pada daerah tekan harus diberi apabila memenuhi Persamaan 2.7.

$$c \geq \frac{l_w}{600(1.5\delta_u/h_w)} \quad (2.7)$$

dimana:

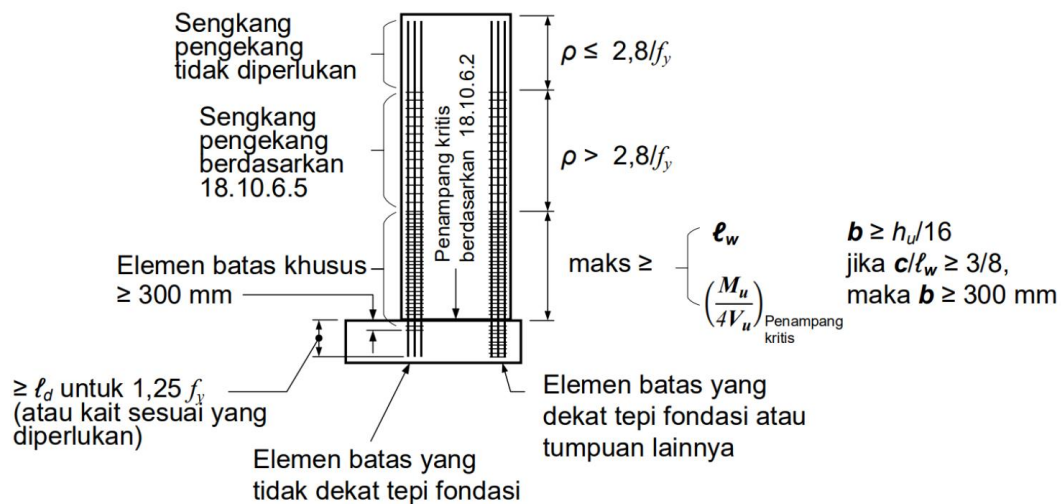
c = Neutral axis depth compression zone (mm)

l_w = Panjang dinding (mm)

δ_u = Simpangan desain (mm)

h_w = Tinggi dinding (mm)

Nilai $1.5\delta_u/h_w$ harus diambil paling sedikit senilai 0.005. Jika komponen batas khusus pada area tekan dibutuhkan, maka penulangan *confinement* pada area komponen batas khusus harus diteruskan hingga sejarak yang terbesar dari l_w atau $\frac{M_u}{4V_u}$. Detail daerah penulangan area komponen batas dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Detail penulangan area komponen batas

Sumber: Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan dan penjelasan*, SNI 2847:2019. p. 411.

- f. Perhitungan sengkang pada area komponen batas khusus mengikuti syarat sengkang *confinement* sesuai dengan SNI Pasal 18.10.6.4. antara lain:

- Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari $c-0.1l_w$ atau $\frac{c}{2}$. Dengan c adalah nilai kedalaman garis netral penampang yang mengalami tekan.
- Lebar daerah tekan lentur diambil tidak kurang dari $\frac{h_u}{16}$, dengan h_u adalah tinggi antar lantai.
- Pada penampang dinding bersayap, elemen batas termasuk lebar sayap efektif yang mengalami tekan harus diperpanjang minimal 300mm ke dalam badan dinding.
- Jarak antar tulangan longitudinal *confinement* yang dikaitkan sengkang (h_x) tidak lebih dari 350mm atau $\frac{2}{3}$ lebar elemen batas. Jarak antar sengkang *confinement* maksimal adalah yang terkecil dari antara nilai berikut:
 - $b/3$
 - $6 d_b$
 - $100 + (\frac{350 - h_x}{75})$
 - 150 mm
- Tulangan *confinement* pada elemen batas khusus harus memenuhi Persamaan 2.8-2.9.

$$\frac{A_{sh}}{Sb_c} \geq 0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (2.8)$$

$$\frac{A_{sh}}{Sb_c} \geq 0.09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (2.9)$$

dimana:

A_{sh} = Luas kaki sengkang pada 1 arah (mm²)

s = Jarak antar sengkang (mm)

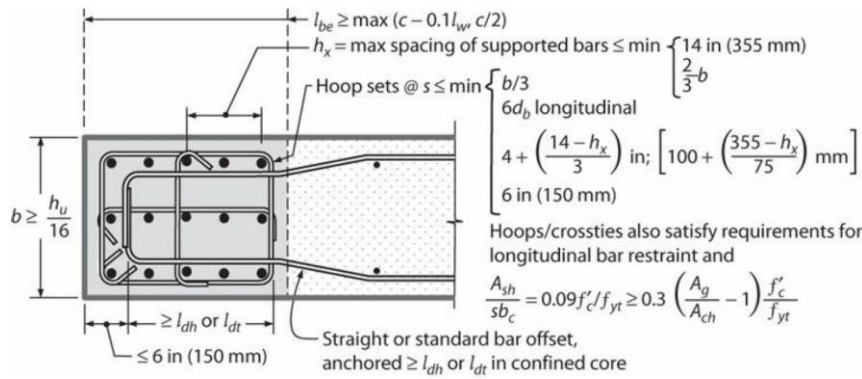
b_c = Lebar *core* pada 1 arah (mm)

A_g = Luas bruto elemen batas khusus (mm²)

A_{ch} = Luas *core* beton (mm²)

f_c' = Mutu Beton (Mpa)

f_{yt} = Mutu Baja transversal (Mpa)

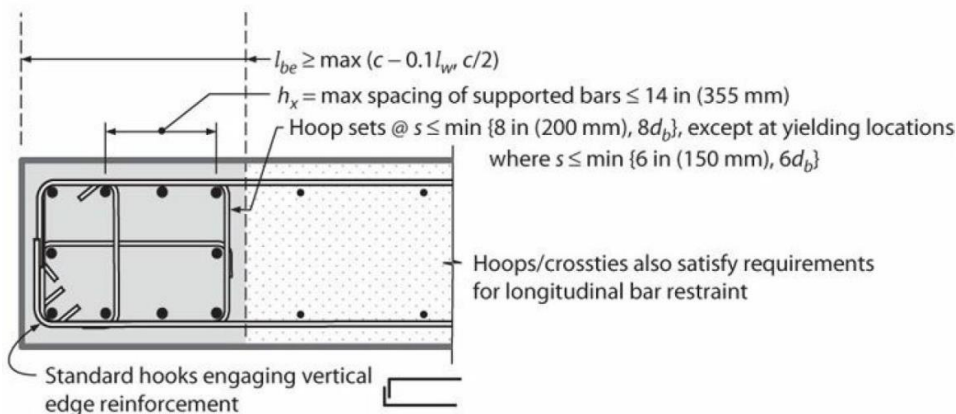


Gambar 2.2. Detail penulangan *confinement* pada area elemen batas khusus

Sumber: Moehle, J. P. (2015). *Seismic design of reinforced concrete buildings* (Vol. 814). New York: McGraw-Hill Education, p. 809.

g. Perhitungan sengkang *confinement* pada area komponen batas biasa. Mengikuti syarat penulangan sesuai dengan pasal 18.10.6.5.

- Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari $c - 0.1l_w$ atau $\frac{c}{2}$. Dengan c adalah nilai kedalaman garis netral penampang yang mengalami tekan.
- Jarak antar tulangan longitudinal yang dikaitkan sengkang (h_x) tidak lebih dari 350mm. Jarak antar sengkang maksimal adalah yang terkecil dari antara $8d_b$ dan 200 mm.



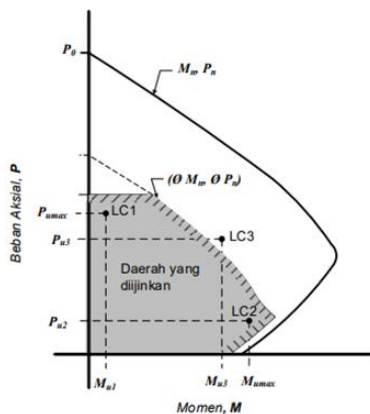
Gambar 2.3. Detail penulangan *confinement* pada area elemen batas biasa

Sumber: Moehle, J. P. (2015). *Seismic design of reinforced concrete buildings* (Vol. 814). New York: McGraw-Hill Education, p. 809.

h. Jika syarat komponen batas khusus tidak diperlukan pada area tekan, serta rasio penulangan longitudinal pada area elemen batas kurang dari $2,8/f_y$ maka tidak perlu dipasang penulangan *confinement*.

2.2.1.2. Kapasitas aksial lentur (2D P-M Curve)

Kapasitas dinding geser yang mengalami lentur dan aksial perlu ditinjau dengan menggambar grafik kurva hubungan P-M *curve*, untuk meninjau apakah beban kombinasi lentur aksial *ultimate* yang bekerja masih berada dalam kapasitas, dengan jarak antar tulangan longitudinal tidak lebih dari 450mm. Dalam mendesain P-M *curve*, diperlukan beberapa titik dan zona penting untuk menggambar kapasitas P-M *curve* yaitu, *pure compression*, *minimum eccentricity*, *compression control*, *balanced condition*, *tension control*, dan *pure tension*.



Gambar 2.4. Grafik zona kapasitas dinding geser

Sumber: Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan dan penjelasan*, SNI 2847:2019. p. 213.

Berikut adalah cara menentukan titik-titik dan zona control pada grafik P-M *curve*:

- Pure compression*. Titik ini merepresentasikan gaya tekan maksimum yang dapat ditahan oleh penampang kolom. Besarnya kapasitas kolom dalam menahan gaya tekan dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.10.

$$P_0 = \phi(0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2.10)$$

dimana:

P_0 = Kapasitas tekan kolom (N)

A_g = Luas bruto beton (mm²)

A_{st} = Luas tulangan (mm²)

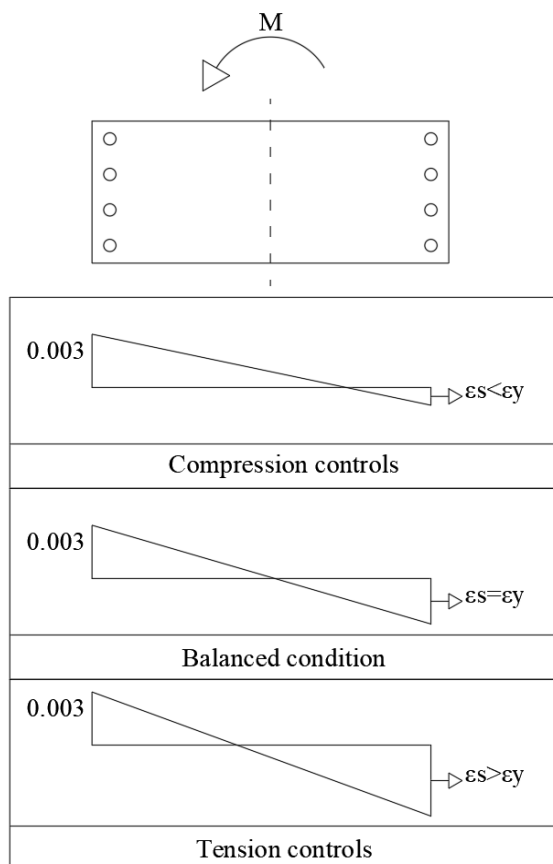
ϕ = Faktor reduksi 0.8 untuk sengkang *tied* dan 0.85 untuk sengkang spiral

- Titik *Minimum eccentricity*. Titik ini dibuat mengalikan hasil pada poin a dengan eksentrisitas minimum senilai $15 + 0.03 l_w$.

- Zona *compression control*. Perhitungan momen aksial nominal bervariasi dengan nilai c yang nantinya akan dikontrol dengan regangan pada baja tarik terluar. Pada zona ini

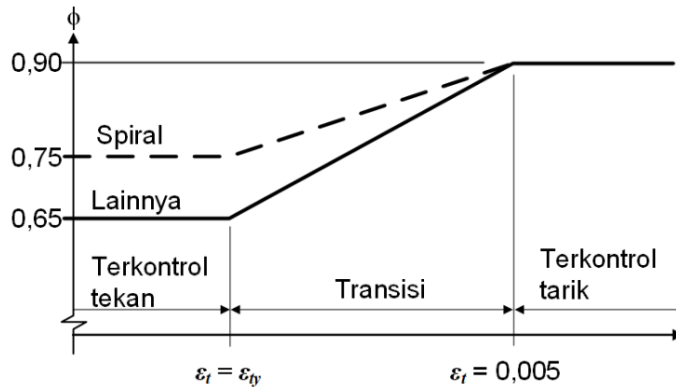
regangan pada serat beton terluar mencapai 0.003, sementara nilai regangan pada serat tulangan terluar yang mengalami tarik belum mencapai titik leleh. Sehingga dengan mengetahui regangan beton dan regangan pada setiap tulangan, gaya pada beton dan tiap tulangan dapat diketahui, dan kapasitas aksial dan momen dapat dihitung.

- d. Titik *balanced*. Pada titik ini regangan pada serat beton terluar mencapai 0.003, dan nilai regangan pada serat tulangan terluar yang mengalami tarik sudah tepat mencapai titik leleh. Dengan distribusi regangan tersebut, gaya pada setiap tulangan dapat dihitung dan nilai c dapat diketahui dengan perbandingan diagram regangan. Sehingga kapasitas aksial dan momen nominal pada titik *balanced* dapat dihitung.
- e. Zona *tension control*. Pada zona ini regangan pada serat beton terluar mencapai 0.003, sementara nilai regangan pada serat tulangan terluar yang mengalami tarik sudah melebihi titik leleh. Dengan menggunakan perbandingan diagram regangan, regangan pada tiap tulangan dapat diketahui. Sehingga dengan mengetahui regangan beton dan regangan pada setiap tulangan, gaya pada beton dan tiap tulangan dapat diketahui, dan kapasitas aksial dan momen dapat dihitung.



Gambar 2.5. Diagram *strain* pada penampang kolom beton

Grafik kapasitas dinding geser yang dapat digunakan harus direduksi dengan faktor ϕ . Nilai ϕ bervariasi terhadap nilai regangan tarik terbesar dari tulangan.



Gambar 2.6. Variasi ϕ dengan regangan baja tarik terluar

Sumber: Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan dan penjelasan*, SNI 2847:2019. p. 472.

2.2.1.3. Kapasitas Aksial Lentur (*simplified*)

Preliminary desain kapasitas penulangan longitudinal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.11.

$$M_{n,CS} = P_u X_p + T_{s1} j_1 l_w + T_{s2} j_2 l_w \quad (2.11)$$

dimana:

M_n = Kapasitas Momen Nominal (Nmm)

P_u = Beban aksial *ultimate* (N)

X_p = Lengan momen antara beban aksial ke gaya tekan (mm)

T_{s1} = Gaya tarik tulangan yang tersebar pada badan dinding geser (N)

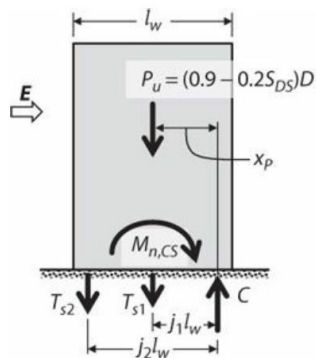
T_{s2} = Gaya tarik tulangan yang terkonsentrasi pada area ujung/sayap dinding (N)

j_1 = Konstanta panjang lengan momen tulangan merata pada badan

j_2 = Konstanta panjang lengan momen tulangan terkonsentrasi pada ujung dinding

l_w = Panjang dinding geser (mm)

Dengan rasio penulangan longitudinal dan transversal minimum masing-masing sebesar 0.0025. Dengan jarak antar tulangan longitudinal tidak lebih dari 450mm.



Gambar 2.7. Pemodelan awal untuk menentukan kebutuhan tulangan longitudinal

Sumber: Moehle, J. P. (2015). *Seismic design of reinforced concrete buildings* (Vol. 814). New York: McGraw-Hill Education, p. 805.

2.2.2. Rasio Penulangan Minimum (ρ_l)

Pada *Constraint* ini, Rasio penulangan minimum yang terpasang pada badan/web yang di distribusi secara transversal dan longitudinal mengikuti Tabel 2.2. Untuk dinding geser dengan $V_u \leq 0.5\phi V_c$.

Tabel 2.2.

Rasio penulangan minimum

Tipe Dinding	Tipe dari tulangan non prategang	Ukuran Tulangan	f_y (Mpa)	Longitudinal Minimum	Transversal Minimum
Cor di tempat	Batang ulir	$\leq D16$	≥ 420	0,0012	0,002
			< 420	0,0015	0,0025
		$> D16$	Semua	0,0015	0,0025
	Tulangan kawat las	$\leq \emptyset 13$ atau D13	Semua	0,0012	0,002

Sumber: Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan dan penjelasan, SNI 2847:2019*. p. 233.

Jika nilai $V_u > 0.5\phi V_c$, maka ρ_l diambil yang terbesar antara Persamaan 2.12, atau 0.0025.

$$\rho_l \geq 0.0025 + 0.5 (2.5 - h_w/l_w) (\rho_t - 0.0025) \quad (2.12)$$

Dimana:

ρ_l = Rasio tulangan longitudinal/luas beton

ρ_t = Rasio tulangan transversal/luas beton (minimal 0.0025)

h_w = Tinggi dinding (m)

l_w = Panjang dinding (m)

2.2.3. Simpangan Antar Tingkat (g3)

Pada *constraint* simpangan antar tingkat, dilakukan pengecekan terhadap simpangan setiap *story* apakah memenuhi batas simpangan ijin yang diatur dalam SNI 1726:2019 untuk kategori resiko bangunan tipe IV yang dapat dilihat dalam persamaan 2.13.

$$\delta_a = 0.01 h_{sx} \quad (2.13)$$

dimana:

$$h_{sx} = \text{Tinggi tingkat di bawah } x(\text{mm})$$

Constraint simpangan antar tingkat dapat dirumuskan kedalam Persamaan 2.14.

$$g_2 = \frac{\delta_r}{\delta_a} - 1 \leq 0 \quad (2.14)$$

dimana:

$$\delta_r = \text{Simpangan lantai yang ditinjau (mm)}$$

$$\delta_a = \text{Simpangan lantai ijin (mm)}$$

2.2.4. Spasi tulangan (g4)

Pada *constraint* ini, spasi tulangan akan ditinjau apakah hasil desain dapat dikerjakan di lapangan. *Constraint* spasi tulangan dapat dibagi menjadi spasi longitudinal, transversal, spasi *confinement* elemen batas khusus, serta spasi *confinement* elemen batas biasa. Keempat *constraint* tersebut dapat dirumuskan kedalam Persamaan 2.15 untuk tulangan longitudinal, Persamaan 2.16 untuk spasi tulangan transversal, Persamaan 2.17 untuk tulangan *confinement* elemen batas khusus dan Persamaan 2.18 untuk tulangan *confinement* elemen batas biasa.

$$25 \text{ mm/db} \leq g_3 \leq 450 \text{ mm} \quad (2.15)$$

$$25 \text{ mm/db} \leq g_3 \leq 450 \text{ mm} \quad (2.16)$$

$$50 \text{ mm} \leq g_3 \leq \min(b/3, 6db, 100 + (\frac{350-h_x}{75}), 150) \text{ mm} \quad (2.17)$$

$$50 \text{ mm} \leq g_3 \leq \min(8db, 200) \text{ mm} \quad (2.18)$$

2.2.5. Lebar sayap (g5)

Pada *constraint* ini, pelebaran sayap pada dinding geser bisa mengakibatkan hasil desain dinding geser dengan lebar sayap yang sangat besar. Pelebaran sayap ini dilakukan untuk memberikan kapasitas momen yang lebih besar (tulangan mendapat lengan momen yang besar) jika dibandingkan dengan dinding geser tanpa pelebaran sayap. Pelebaran sayap yang terlalu besar dianggap tidak terlalu efektif (Moehle, et al., 2011), maka dari itu pelebaran sayap pada

dinding geser dibatasi dengan nilai 25% dari tinggi antar lantai. Dan juga penebalan sayap tidak boleh kurang dari tebal badan dinding.

2.3. Variabel Optimasi

Dalam mendesain dinding geser secara akurat ada banyak variabel yang dapat dipertimbangkan dan dioptimasi selama proses mendesain. Beberapa variabel yang dapat dioptimasi antara lain; mutu beton, jumlah atau rasio tulangan, tebal dinding geser, panjang dinding geser, penebalan sayap, serta *boundary element*. Sementara *input* yang akan dipertimbangkan dalam mendesain yaitu panjang maksimal dinding geser, tinggi dinding geser, serta gaya akibat beban luar yang bekerja seperti beban aksial, serta beban horizontal yang bekerja pada setiap lantai. Optimasi ini digunakan untuk mendapat hasil yang seefisien mungkin baik terhadap biaya maupun secara kekuatan dinding geser (Nikzad & Yoshitomi, 2017).

2.4. Algoritma Optimasi

Untuk mendapatkan hasil yang cukup untuk dikatakan optimal, digunakan proses Metaheuristik, yang berupa berbagai algoritma optimasi. Algoritma optimasi adalah kumpulan instruksi yang diberikan pada sebuah komputer untuk melakukan perhitungan secara iteratif yang memberikan hasil yang optimal dari sebuah fungsi atau permasalahan ketika diberikan sistem penilaian dari setiap hasil. Algoritma optimasi dalam Metaheuristik sering kali didasarkan pada hal yang ada di alam.

2.4.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization pertama ditemukan oleh Kennedy & Eberhart (1995) , dan dikembangkan oleh Shi & Eberhart (1998). *Particle Swarm Optimization* tercipta berdasarkan pada peristiwa alam berupa kumpulan burung yang terbang. Algoritma ini bekerja menggunakan sejumlah partikel yang memiliki arah dan kecepatan yang berubah pada setiap generasi. Perubahan arah dan kecepatan partikel dipengaruhi oleh pengalaman kumpulan partikel yang didapatkan pada setiap iterasi.

$$v_i = v_i + c_1 \text{rand}() (p_i - x_i) + c_2 \text{Rand}() (p_g - x_i) \quad (2.19)$$

$$x_i = x_i + v_i \quad (2.20)$$

dimana:

v_i = Kecepatan partikel ke-i

x_i	= Posisi partikel ke-i
p_i	= Posisi terbaik sebelumnya dari partikel ke-i
p_g	= Posisi terbaik sebelumnya dari partikel terbaik
$\text{rand}()$, $\text{Rand}()$	= Dua angka acak berbeda diantara 0 dan 1
c_1, c_2	= Konstanta, umumnya 2

2.4.2. *Symbiotic Organisms Search (SOS)*

Algoritma *Symbiotic Organisms Search* pertama ditemukan oleh Cheng dan Prayogo (2014). *Symbiotic Organisms Search* tercipta berdasarkan pada hubungan simbiosis antara organisme di alam. Algoritma ini bekerja menggunakan sejumlah organisme yang akan berinteraksi dalam fase mutualisme, komensalisme, dan parasitisme.

2.4.2.1. *Mutualism Phase*

Simbiosis mutualisme adalah hubungan antara organisme yang menguntungkan kedua pihak. Dalam fase mutualisme SOS, akan diambil hasil interaksi antar organisme yang lebih baik, sehingga menguntungkan semua organisme.

$$X_{i\text{new}} = X_i + \text{rand}(0,1) * (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF_1) \quad (2.21)$$

$$X_{j\text{new}} = X_j + \text{rand}(0,1) * (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF_2) \quad (2.22)$$

$$\text{Mutual_Vector} = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (2.23)$$

dimana:

X_i	= organisme yang sesuai dengan anggota ke-i dalam ekosistem
X_j	= organisme yang dipilih secara acak dari ekosistem
$X_{i\text{new}}$	= kandidat baru X_i
$X_{j\text{new}}$	= kandidat baru X_j
BF_1	= angka acak antara 1 atau 2
BF_2	= angka acak antara 1 atau 2
X_{best}	= solusi global atau organisme dengan tingkat adaptasi terbaik

2.4.2.2. *Commensalism Phase*

Simbiosis komensalisme adalah hubungan antara organisme yang menguntungkan salah satu pihak sedangkan pihak yang lain tidak rugi ataupun untung. Dalam fase komensalisme

SOS, organisme yang terpilih akan mengambil hasil yang lebih optimal dari organisme lain yang terpilih secara acak tanpa merugikan organisme tersebut.

$$X_{\text{inew}} = X_i + \text{rand}(-1,1) * (X_{\text{best}} - X_j) \quad (2.24)$$

2.4.2.3. Parasitism Phase

Simbiosis parasitisme adalah hubungan antara organisme yang menguntungkan salah satu pihak tapi merugikan pihak yang lain. Dalam fase parasitisme SOS, organisme yang terpilih akan membuat *Parasite_Vector* yang kemudian dibandingkan dengan organisme acak. Organisme acak tersebut akan digantikan dengan organisme baru apabila dinilai lebih buruk daripada *Parasite_Vector*.

$$\text{Parasite_Vector} \begin{cases} X_i, & \text{rand} < 0.5 \\ \text{rand}(0,1) * (ub - lb) + lb, & \text{rand} > 0.5 \end{cases} \quad (2.25)$$

$$X_{\text{jnew}} \begin{cases} X_j, f(X_j) < f(PV) \\ PV, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.26)$$

2.5. Objective Function

Objective function adalah sebuah fungsi yang menghasilkan suatu nilai yang menjadi target atau tujuan utama dalam proses optimasi. Nilai dari suatu *objective function* dapat berupa nilai maksimum (maksimalisasi) atau nilai minimum (minimalisasi). Bahkan dalam suatu proses optimasi bisa mendapatkan 2 nilai atau lebih yang biasa disebut dengan *multiobjective optimization*. Berbeda dengan *single objective function*, *Multiobjective Function* dapat memberikan berbagai macam variasi hasil yang optimal. Target dari penelitian ini adalah membuat program minimalisasi dengan tujuan mendapatkan kebutuhan material seminimal mungkin, namun masih memenuhi *constraint* yang diatur dalam SNI 2847:2019. Semua Jenis algoritma optimasi yang digunakan pada penelitian ini (PSO dan SOS) memiliki *objective function* yang sama yakni mendapat hasil kebutuhan material seminimal mungkin. *Objective function* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.27.

$$f(y) = \sum Q_c \times C_c + \sum Q_{fw} \times C_{fw} + \sum Q_{st} \times C_{st} \quad (2.27)$$

dimana:

$f(y)$ = *Objective function* dengan mencari nilai paling minimal

$\sum Q_c$ = Kuantitas Beton (m^3)

C_c = *Cost Concrete* bervariasi sesuai dengan mutu beton ($\$/m^3$) / (Rp/ m^3)

$\sum Q_{fw}$ = Kuantitas bekisting (m^2)

C_{fw} = Cost frame work (\$/m²) / (Rp/m²)

ΣQ_{st} = Kuantitas tulangan (kg)

C_{st} = Cost steel (\$/kg) / (Rp/kg)

Objective function terpenalti adalah sebuah fungsi yang menghasilkan biaya final dari proses optimasi untuk hasil final yang melanggar *constraint*. Hasil final yang melanggar *constraint* akan diberi penalti berupa denda. Nilai denda dihitung berdasarkan akumulasi pelanggaran yang terjadi di setiap *constraint*. Tujuan *Objective function* terpenalti adalah untuk mengeliminasi hasil-hasil yang melanggar *constraint*. *Objective function* terpenalti dalam penelitian ini dirumuskan dalam Persamaan 2.28.

$$f(y) = \Sigma Q_c \times C_c + \Sigma Q_{fw} \times C_{fw} + \Sigma Q_{st} \times C_{st} + P_i \quad (2.28)$$

dimana:

$f(y)$ = *Objective function* dengan mencari nilai paling minimal

ΣQ_c = Kuantitas Beton (m³)

C_c = Cost Concrete bervariasi sesuai dengan mutu beton (\$/m³) / (Rp/m³)

ΣQ_{fw} = Kuantitas bekisting (kg)

C_{fw} = Cost frame work (\$/m²) / (Rp/m²)

ΣQ_{st} = Kuantitas tulangan (kg)

C_{st} = Cost steel (\$/kg) / (Rp/kg)

p = Penalty cost (Rp)

i = Banyaknya constraint yang terlanggar