

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan (SNI 1726:2002).

2.2 LRFD (*Load And Resistance Factor Design*)

LRFD (*Load And Resistance Factor Design*) adalah salah satu spesifikasi yang digunakan untuk mendesain struktur bangunan berdasarkan ketahanan atau istilah lainnya metode kekuatan ultimit (*Metode Plastis*). LRFD adalah suatu metode dalam perencanaan struktur yang memperhitungkan berbagai faktor seperti faktor beban dan faktor ketahanan material. Prinsip desain ini ialah tegangan yang terjadi pada elemen struktur harus lebih kecil dari kapasitas kekuatan elemen yang kali dengan suatu faktor keamanan *safety factor*.

Kekuatan gaya lentur yang digunakan untuk *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) menggunakan Persamaan 2.1 (Segui, W. T., 2013).

$$R_u \leq \phi R_n \quad \dots(2.1)$$

keterangan:

R_n = kekuatan elemen yang dihasilkan,

R_u = gaya dalam akibat beban terfaktor,

ϕ = faktor reduksi / faktor tahanan sesuai dengan jenis struktur yang ditinjau.

2.3 Standar Peraturan yang Digunakan Dalam Penelitian

Peraturan-peraturan yang dijadikan pedoman antara lain:

1. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847 tahun 2013)
Peraturan digunakan dalam *preliminary design* perhitungan dan syarat tebal pelat yang akan digunakan.
2. Tata cara perencanaan bangunan tahan gempa untuk Gedung dan non gedung (SNI 1726 tahun 2012).
Peraturan ini memuat ketentuan beban gempa untuk perencanaan suatu gedung.
3. Beban minimum yang digunakan untuk perancangan bangunan Gedung dan struktur lain (SNI 1727 tahun 2013)
Peraturan ini berisi ketentuan beban yang diizinkan dalam perhitungan kekuatan Gedung maupun struktur lain.

2.4 Jenis-jenis Beban

Jenis-jenis beban yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Beban mati
Beban mati adalah beban yang berada pada posisi yang sama setiap saat dengan besar yang konstan. Beban ini merupakan berat sendiri struktur termasuk beban lain yang melekat secara permanen seperti, dinding, lantai, plafon, tangga, atap, plumbing, dll.
2. Beban hidup
Beban hidup ialah beban penggunaan suatu gedung yang didalamnya termasuk beban lantai yang berasal baik dari barang, mesin, orang yang dapat berpindah sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan pada lantai dan atap.
3. Beban hujan
Beban Hujan adalah beban yang bekerja pada gedung yang disebabkan oleh hujan.
4. Beban gempa
Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur yang menirukan pengaruh dari tanah akibat gempa.

2.5 Perencanaan Elemen Struktur

Elemen struktur harus direncanakan sebaik mungkin dan memenuhi syarat yang telah ditentukan agar struktur yang direncanakan tidak mengalami keruntuhan akibat kesalahan perencanaan elemen struktur. Elemen yang harus didesain dengan baik antara lain pelat, kolom dan balok.

2.5.1 Desain Pelat Beton

Syarat untuk menghitung pelat berdasarkan SNI 2847 tahun 2013 sebagai berikut:

1. Jika $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2$, maka tebal pelat dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.2

$$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} > 125 \text{ mm} \quad \dots(2.2)$$

2. Jika $\alpha_{fm} \geq 2$, maka tebal pelat dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3

$$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm} \quad \dots(2.3)$$

3. Jika $\alpha_{fm} \leq 0,2$, h = ketebalan minimum pelat tanpa balok dalam dapat dilihat pada

Gambar 2.1

Tegangan leleh, f_y MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ⁵		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ⁵	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

¹Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y , antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁵Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_r untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Gambar 2.1 Tebal minimum pelat tanpa balok interior
(Sumber : SNI 2847 tahun 2013)

2.5.2 Desain Kolom Baja

Perhitungan dimensi kolom baja berdasarkan SNI 1729 tahun 2015 antara lain :

1. Pengecekan kemampuan kolom yang digunakan dalam menahan beban.

- i. Jika $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, maka elastis

ii. Jika $\frac{KL}{r} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, maka inelastis

iii. Jika inelastis maka menggunakan Persamaan 2.4

$$F_{cr} = (0,658 \frac{f_y}{f_e}) f_y \quad \dots(2.4)$$

iv. Jika elastis maka menggunakan Persamaan 2.5

$$F_{cr} = 0,877 f_e \quad \dots(2.5)$$

Dimana f_e = tegangan tekuk elastis yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{KL}{r})^2} \quad \dots(2.6)$$

v. Cek kapasitas kolom menggunakan Persamaan 2.7

$$\phi R_n = \phi F_{cr} A_g \quad \dots(2.7)$$

dimana $\phi = 0,9$

vi. Cek *local buckling* menggunakan Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots(2.8)$$

$$\frac{d-2t_f}{t_w} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots(2.9)$$

2. Menghitung *Biaxial Bending* (Segui, W.T., 2013)

Untuk $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$, menggunakan persamaan 2.10

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad \dots(2.10)$$

Untuk $\frac{P_r}{P_c} \leq 0,2$, menggunakan persamaan 2.11

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad \dots(2.11)$$

Dimana P_c dan $M_{cx/cy}$ dapat dihitung dengan Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13

$$P_c = A_g * F_{cr} \quad \dots(2.12)$$

$$M_{cx/cy} = Z_{x/y} \times f_y \quad \dots(2.13)$$

keterangan:

- P_r = kekuatan material yang diperlukan [N], didapat dari *output* ETABS
- P_c = Kekuatan desain material yang ada [N],
- M_r = Momen ultimit [Nmm], didapat dari *output* ETABS2015,
- M_c = Momen desain [Nmm].

2.5.3 Desain Balok Baja

Persyaratan untuk menghitung dimensi balok didasarkan pada SNI 1729:2015, persyaratan tersebut antara lain :

1. Syarat Lentur

Struktur baja ini harus memenuhi syarat lentur yaitu, $Z_{xperlu} < Z_{xprofil}$ dimana, Z_{xperlu} dihitung dari Persamaan 2.14

$$Z_{xperlu} = \frac{M_n}{f_y} \quad \dots(2.14)$$

2. Cek Penampang

Menurut Segui, W. T. (2013) untuk mengetahui penampang yang digunakan termasuk kedalam penampang kompak, non kompak atau langsing terdapat batasan yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 atau sebagai berikut:

- a. Jika $\lambda \leq \lambda_p$, maka penampang kompak,
- b. Jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, maka penampang non kompak,
- c. Jika $\lambda > \lambda_r$, maka penampang langsing.

dimana:

λ = Rasio lebar ke tebal,

λ_p = Batas atas untuk kategori kompak,

λ_r = Batas atas untuk kategori non kompak.

Menurut Segui, W. T. (2013) Batasan dan rasio tersebut didapat dari pengecekan pada *flange* dan *web* dengan menggunakan persamaan-persamaan dibawah ini:

- i. Cek *local buckling* pada *web* menggunakan Persamaan 2.15, Persamaan 2.16 dan Persamaan 2.17

$$\lambda = \frac{H-2t_f}{t_w} \quad \dots(2.15)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots(2.16)$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots(2.17)$$

- ii. Cek *local buckling* pada *flange* menggunakan Persamaan 2.18, Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad \dots(2.18)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots(2.19)$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots(2.20)$$

- iii. Untuk momen lentur pada penampang

- Jika penampang kompak dihitung menggunakan Persamaan 2.21

$$M_n = M_p = f_y * Z_x \quad \dots(2.21)$$

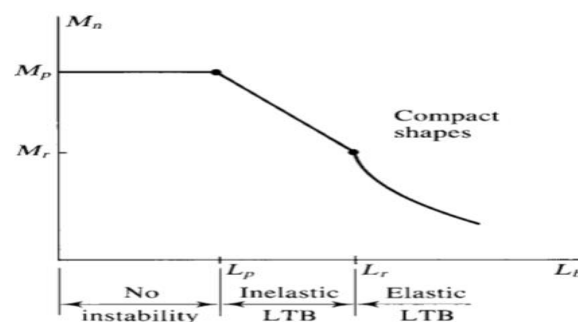
- Jika penampang non kompak dihitung menggunakan persamaan 2.22

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7f_y S_x) * \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad \dots(2.22)$$

3. Pengecekan *Lateral Torsional Buckling*

Cek *Lateral Torsional Buckling* pada Struktur baja yang didesain disyaratkan yaitu,

- a. Jika $L_b \leq L_p$, maka tidak terjadi LTB,
- b. Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka penampang inelastis,
- c. Jika, $L_b > L_r$, maka penampang elastis.



Gambar 2.2 Batasan untuk penampang no LTB, inelastis dan elastis
(Sumber: Segui, W. T., 2013)

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \dots(2.23)$$

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \quad \dots(2.24)$$

Dimana, L_b = Panjang tidak terkekang terpanjang [mm]

Untuk momen lentur pada penampang

- Jika penampang tidak terjadi LTB maka dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.25

$$M_n = M_p = f_y * Z_x \quad \dots(2.25)$$

- Jika penampang inelastis maka dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.26

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7f_y S_x) * \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad \dots(2.26)$$

Dimana C_b dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.27

$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad \dots(2.27)$$

- Jika penampang elastis maka dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.28

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad \dots(2.28)$$

dimana F_{cr} dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.29

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / r_{ts})^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad \dots(2.29)$$

2.5.4 Lendutan

Kemampuan layan batas untuk batas-batas lendutan harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan dan elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum (δ) dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Batas Lendutan Maksimum (δ)

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau <i>finishing</i> yang getas	L/360	-
Balok biasa	L/240	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	h/500	h/200
Kolom dengan analisis orde kedua	h/300	h/200

(Sumber: Segui, W. T., 2013)

Dengan syarat $\Delta < \delta$

Untuk beban terbagi rata, menggunakan Persamaan 2.30

$$\Delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{WL^4}{EI} \quad \dots(2.30)$$

dimana:

$$W = DL + LL$$

2.5.5 Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan yang terjadi pada tiap lantai (Δ_s) tidak boleh melebihi simpangan izin (Δ_{izin}). Besarnya simpangan izin dilihat dari jenis struktur dan kategori resiko struktur yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Gambar 2.3 Batasan simpangan yang diizinkan (Δ_{izin})
(Sumber : SNI 1726 tahun 2012)

2.6 Studi terdahulu

Penelitian ini disusun berdasarkan studi terdahulu yaitu oleh Ardian Alders Dhani (2015) dengan judul penelitian Analisis Pengaruh Perubahan Nilai Koefisien Modifikasi Respon (R) Terhadap Perilaku Dinamis Struktur Gedung Tidak Beraturan. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan nilai koefisien modifikasi respon sangat mempengaruhi kekakuan struktur, sehingga berpengaruh terhadap simpangan, dimana semakin besar nilai R semakin kecil simpangan yang terjadi.

Penelitian ini juga mengacu pada studi terdahulu yang disusun oleh Nazila Kamila Shaomi (2019) dengan judul penelitian Pembesaran Gaya Dalam dan Rasio Kekuatan Elemen Struktur Baja Untuk Berbagai Zona Gempa di Indonesia. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa rasio minimum kolom pada daerah gempa frekuensi tinggi ($S_1 = 1,2g$) sebesar 0,39 dan rasio maksimum pada daerah gempa frekuensi rendah ($S_1 = 0,2g$) sebesar 0,9.

