

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut (SNI 2847, 2013), beton adalah hasil campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus seperti pasir, agregat kasar seperti batu belah, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Beton akan mencapai kuat tekan maksimum setelah berumur 28 hari. Beton mampu menahan kuat tekan yang baik, sehingga banyak digunakan untuk struktur bangunan, jembatan, dan jalan.

2.2 Tulangan Baja

Tulangan Baja biasanya dipakai pada konstruksi beton yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik beton, karena beton sangat lemah dalam menahan gaya tarik. Tulangan baja memiliki bermacam-macam mutu yang ditinjau dari tegangan leleh dan tegangan putus. Tulangan baja juga dipabrikasi dengan berbagai diameter yang berbeda untuk efisiensi dan efektifitas konstruksi beton bertulang.

2.3 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan, beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah dan batang-batang baja yang ditanamkan didalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. (Wang, 1993:1)

2.4 Sistem Struktur Atas Bangunan

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur yang berada di atas permukaan tanah (SNI 2847, 2002).

Komponen struktur atas bangunan terdiri dari:

- a. Balok
- b. Kolom
- c. Pelat lantai

Setiap komponen struktur atas memiliki fungsi yang berbeda dan saling berkaitan. Komponen-komponen tersebut harus direncanakan dengan baik agar mencegah keruntuhan gedung. Maka perencanaan komponen struktur atas bangunan harus direncanakan dengan efektif dan tepat dengan memenuhi kriteria kekuatan, kenyamanan, keselamatan, dan umur rencana bangunan.

2.4.1 Balok

Balok merupakan komponen struktur horizontal dalam bangunan yang menahan gaya lateral terhadap balok (Asroni, 2010). Gaya lateral yang bekerja pada balok menyebabkan balok mengalami gaya geser atau lintang dan gaya momen atau puntir. Balok menahan beban dari pelat lantai dan menyalurkannya ke kolom.

Fungsi struktur balok, yaitu:

- a. Menahan beban
- b. Membalas momen lentur dan gaya geser
- c. Menghubungkan struktur
- d. Memberikan distribusi beban yang seragam

2.4.2 Kolom

Kolom merupakan komponen struktural vertikal yang dirancang untuk mendukung atau menahan beban tekan aksial yang berasal dari pelat lantai dan balok, kemudian ditransfer ke pondasi (SNI 2847, 2013). Hal tersebut menjadikan kolom sebagai struktural penting, karena bila terjadi keruntuhan maka semua struktur akan ikut runtuh.

Kolom dapat terbuat dari beton bertulang (beton dan tulangan baja) ataupun baja, sehingga mampu menahan tarik dan tekan. Berdasarkan bentuk, kolom dapat berbentuk persegi, persegi panjang, dan lingkaran.

2.4.3 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah komponen struktural yang terbuat dari beton bertulang dengan permukaan yang rata untuk menjadi lantai tingkat yang menahan beban di atasnya dan kemudian menyalurkannya ke balok. Pelat lantai ditahan oleh balok

dan disalurkan ke kolom. Dimensi ketebalan pelat biasanya lebih kecil bila dibandingkan dengan komponen struktur lain. Sama halnya dengan balok, beban yang bekerja pada pelat juga dapat menyebabkan lendutan pada pelat.

Berdasarkan sistem penulangan, pelat dibagi menjadi 2 macam, yaitu:

a. Pelat Satu Arah pada Balok

Pelat ini dirancang untuk menahan beban sepanjang satu arah, sehingga ditumpu oleh dua balok yang berlawanan. Pelat model ini biasanya untuk balok kantilever. Pembesian tulangan utama dipasang pada bentang pendek dan tulangan bagi pada arah melintang (yang lebih panjang).

b. Pelat Dua Arah pada Balok

Pelat tipe ini berfungsi untuk menahan beban sepanjang dua arah, sehingga pelat dua arah ini ditumpu oleh balok pada empat sisi. Tipe pelat ini biasanya diterapkan pada pelat lantai gedung bertingkat. Karena menahan beban dari dua arah maka pembesian utama dipasang pada kedua bentang pelat.

Berdasarkan tumpuan pelat, pelat dibagi menjadi 3 tipe (Asroni, 2010), yaitu:

a. Terjepit Bebas

Pada keadaan terjepit bebas, pelat akan berputar setelah dibebani, karena hanya terletak di atas balok atau dinding (balok dan pelat tidak dicor bersamaan).

b. Terjepit sebagian

Pada keadaan terjepit sebagian, pelat dan balok menyatu (dicor bersamaan), tetapi balok kaku dan tidak dapat menahan pelat dan pelat akan berputar setelah dibebani.

c. Terjepit penuh

Pada keadaan terjepit penuh, pelat dan balok menyatur (dicor bersamaan) dan balok cukup besar untuk menahan pelat dan pelat tidak akan berputar setelah dibebani.

2.5 Pembebanan Gedung

2.5.1 Kombinasi Pembebanan

Menurut (SNI 2847, 2013), struktur beton bertulang harus dirancang agar memiliki kekuatan pada semua penampang minimal sama dengan beban yang harus ditahan. Kekuatan perlu harus sama atau lebih besar dari pengaruh beban terfaktor yang disyaratkan, yaitu:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

dengan

D = beban mati

E = beban gempa

L = beban hidup

L_r = beban hidup atap

R = beban hujan

W = beban angin

2.5.2 Beban Mati

Semua komponen permanen arsitektural maupun struktural seperti balok, kolom, dinding, lantai, plafon, tangga, lampu, dan lain-lain termasuk dalam beban mati (SNI 2847, 2013). Nilai beban mati dihitung dari berat jenis, kepadatan material.

2.5.3 Beban Hidup

Berdasarkan (SNI 2847, 2013), beban hidup merupakan beban sementara yang berasal dari pengguna gedung yang tidak termasuk beban konstruksi dan lingkungan. Beban hidup mewakili beban dinamis yang bervariasi. Beban hidup ditentukan berdasarkan kegunaan dan fungsi gedung.

2.6 Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi ϕ atau sering dikenal faktor keamanan merupakan nilai pengurang kekuatan desain karena kekuatan bahan tidak selalu mampu menahan beban yang ada. Menurut (SNI 2847, 2013) pasal 9.3.2.1, nilai faktor reduksi ϕ ditentukan sebagai berikut:

1. Penampang untuk lentur tanpa beban aksial, $\phi = 0,9$
2. Beban aksial dan beban aksial tarik dengan lentur
 - a. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur
 - i. Penampang dengan tulangan spiral, $\phi = 0,75$
 - ii. Penampang dengan tulangan begel, $\phi = 0,65$
3. Penampang untuk geser dan torsi, $\phi = 0,75$
4. Penampang untuk tumpuan pada beton, $\phi = 0,65$

2.7 Kekuatan Desain Struktur

Perencanaan struktur beton bertulang suatu gedung harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847, 2013. Kekuatan rencana komponen struktur harus lebih besar dari kekuatan perlu.

Pasal 22.5.1 SNI 2847, 2013 mensyaratkan agar momen lentur desain penampang didasarkan pada:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (1)$$

M_n merupakan beban lentur nominal dengan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. M_u merupakan kekuatan lentur perlu pada penampang.

Pasal 22.5.2 SNI 2847, 2013 mensyaratkan agar beban aksial desain penampang didasarkan pada:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2)$$

P_n merupakan kekuatan tekan nominal dengan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. P_u merupakan kekuatan tekan perlu pada penampang.

Pasal 22.5.4 SNI 2847, 2013 mensyaratkan agar gaya geser desain penampang didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3)$$

V_n merupakan kekuatan geser nominal dengan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. V_u merupakan kekuatan geser perlu pada penampang.

2.8 Perhitungan Kuat Rencana Balok

Perhitungan kuat rencana balok bertujuan untuk mengetahui kemampuan balok tersebut dalam menahan beban yang ada. Hal tersebut dikarenakan adanya syarat pada poin 2.7. Perhitungan kuat rencana balok (Asroni, 2017) dibagi menjadi 2, yaitu:

2.8.1 Momen Rencana Balok

Diperlukan data penampang balok (b , h , d , d_s , d_s'), mutu beton dan tulangan (f_c' , f_y), dan jumlah tulangan terpasang (A_s). Kemudian dikontrol nilai ρ dengan syarat $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$, dimana:

$$\rho = \frac{A_s - A'_s}{b \cdot d} \quad (4)$$

Dan

$$\rho_{\max} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{(600 + f_y) \cdot f_y} \quad (5)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (6)$$

Jika $\rho < \rho_{\min}$, maka dimensi penampang balok perlu diperkecil dan sebaliknya jika $\rho > \rho_{\max}$, maka dimensi penampang balok perlu diperkecil.

Selanjutnya, kontrol tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang actual a, yaitu:

$$a = \frac{(A_s - A'_s) \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (7)$$

$$a_{\min} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d' d}{600 - f_y} \quad (8)$$

$$a_{\max} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot dd}{600 + f_y} \quad (9)$$

Jika $a < a_{\min}$, maka a dihitung lagi dengan menentukan p dan q.

$$p = \frac{600 \cdot A'_s - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot b} \quad (10)$$

$$q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d'_s \cdot A'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (11)$$

$$a = (\sqrt{p^2 + q}) - p \quad (12)$$

Tentukan tegangan tekan baja, f'_s .

$$f'_s = \frac{a - \beta_1 \cdot d'_s}{a} \cdot 600 \quad (13)$$

Maka, momen nominal oleh gaya tekan beton M_{nc} dan momen nominal oleh gaya tekan tulangan M_{ns} dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$M_{nc} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (14)$$

$$M_{ns} = A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d'_s) \quad (15)$$

Tentukan momen aktual balok, M_n .

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \quad (16)$$

Tentukan momen desain balok B1, M_d .

$$M_d = \phi \cdot M_n \quad (17)$$

2.8.2 Geser Rencana Balok

Diperlukan data penampang balok (b , d), mutu bahan (f'_c , f_y), diameter begel (dp), spasi begel (s). Kemudian tentukan gaya geser yang mampu ditahan beton V_c , yaitu:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (18)$$

Selanjutnya tentukan luas tulangan geser per meter panjang balok perlu A_v dengan rumus:

$$A_v = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot dp^2 \cdot S}{s} \quad (19)$$

Kemudian tentukan nilai gaya geser yang ditahan begel V_s , yaitu:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{S} \quad (20)$$

Maka, dapat dihitung gaya geser nominal dan geser rencana dengan cara sebagai berikut:

$$V_n = \phi \cdot (V_c + V_s) \quad (21)$$

Dan

$$V_d = \phi \cdot V_n \quad (22)$$

2.9 Perkuatan Struktur

Kesalahan desain rencana struktur suatu bangunan berakibat fatal yang dapat menyebabkan suatu gedung roboh. Maka struktur suatu bangunan perlu dilakukan perkuatan agar mampu menahan beban yang ada.

Perkuatan struktur dilakukan dengan menganalisa struktur suatu gedung. Kemudian dari hasil analisa, dapat kita ketahui struktur apa saja yang perlu dilakukan perkuatan. Solusi perkuatan yang harus dilakukan bergantung pada hasil analisa dan kondisi struktur tersebut. Pemilihan solusi perkuatan struktur perlu memperhatikan cara pelaksanaan, biaya, material yang tersedia, dan kemampuan SDM.

2.10 Perkuatan Struktur Balok

Menurut (IAEE, 2013), teknik untuk perkuatan balok dapat dilakukan dengan cara meningkatkan momen nominal dan gaya geser nominal dengan menambah tulangan utama dan tulangan geser, serta memperbesar dimensi balok. Perkuatan struktur balok yang belum dibuat dapat dilakukan dengan memperbesar dimensi dan menambah tulangan perlu sesuai dengan beban perlu.

2.10.1 Metode Perkuatan Struktur

Untuk struktur balok existing, metode perkuatan balok dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. *Prepared concrete*, yaitu mengganti beton lama dengan beton baru dengan cara meletakkan agregat kasar pada bekisting dan kemudian direkatkan dengan beton lama dengan pasta semen. (Ngudiyono, 2018)
- b. *Jacketing*, yaitu dengan membungkus bagian struktur yang rusak dengan suatu bahan seperti beton, karet, baja, atau komposit dan menambah tulangan utama maupun sengkang. (Ngudiyono, 2018)
- c. Memasang pelat baja yang dibaut ke balok, yaitu dengan memasang pelat baja pada balok dan dikunci dengan baut. (Wang & Zhu, 2011)

2.10.2 Perhitungan Perkuatan dengan Pelat Baja

a. Perkuatan Momen

Perkuatan balok dihitung dengan menentukan momen perkuatan yang diperlukan, yaitu:

$$M_u = \phi \cdot M_r \quad (23)$$

$$M_r + M_{\text{pelat baja}} = M_{\text{existing}} + M_{\text{Perkuatan perlu}} \quad (24)$$

$$M_{\text{Perkuatan perlu}} = M_r - M_{\text{existing}} + M_{\text{pelat baja}} \quad (25)$$

Tentukan momen tahanan dari pelat baja, W.

$$W = \frac{t_{\text{plat}} \cdot h^2}{6} \quad (26)$$

Kemudian momen perkuatan dikonversikan ke tegangan baja (Segui, 2007) sehingga:

$$\sigma = \frac{M_{\text{perkuatan plat}}}{W} \quad (27)$$

$$M_{\text{perkuatan plat}} = \sigma \cdot W \quad (28)$$

Dengan σ adalah tegangan baja perkuatan dan W adalah momen tahanan.

Selanjutnya kontrol momen perkuatan perlu terhadap momen perkuatan plat.

$$M_{\text{perkuatan plat}} \geq M_{\text{Perkuatan perlu}} \quad (29)$$

b. Perkuatan Geser

Perkuatan geser dihitung dengan menentukan gaya perkuatan yang diperlukan, yaitu:

$$V_u = \phi \cdot V_r \quad (30)$$

$$V_r + V_{plat\ baja} = V_{existing} + V_{Perkuatan} \quad (31)$$

$$V_{Perkuatan} = V_r - V_{existing} + V_{plat\ baja} \quad (32)$$

Kemudian gaya geser perkuatan dikonversi ke gaya geser tahanan baja (Segui, 2007) dengan tinggi pelat baja h dan tebal plat t yang direncanakan.

$$V_{Perkuatan\ plat} = 0,6 \cdot A_{pelat\ baja} \cdot f_y \quad (33)$$

Selanjutnya kontrol geser perkuatan perlu terhadap momen perkuatan plat.

$$V_{perkuatan\ plat} \geq V_{perkuatan\ perlu} \quad (34)$$

2.11 Perkuatan Struktur Kolom

Struktur kolom pada suatu bangunan harus mampu menahan beban aksial dan momen yang terjadi. Momen ujung, dan faktor pembesar momen pada kolom juga berpengaruh besar.

Sama halnya dengan balok, perkuatan struktur kolom yang belum dibuat dilakukan dengan memperbesar dimensi dan menambah jumlah tulangan sesuai beban perlu.

2.11.1 Metode Perkuatan Kolom

Untuk struktur kolom existing, metode perkuatan kolom dapat dilakukan dengan cara:

- a. *Steel Jacketing*, yaitu membungkus kolom dengan profil baja siku atau dengan pelat baja. Metode ini sering digunakan karena dianggap cepat dan hemat biaya. (Islam, 2017)
- b. *RC Jacketing*, yaitu dengan memperbesar dimensi kolom dengan menambah lapisan beton baru di luar beton lama dan juga menambah tulangan utama dan Sengkang. (Islam, 2017)

c. *Composite Jacketing*, yaitu dengan bahan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) yang bertujuan menambah kuat tekan kolom. (Hasyim, Studi, Sipil, Teknik, & Wiralodra, n.d.)