

V. METODE PERENCANAAN

Didalam perencanaan portal beton bertulang yang menggunakan balok pracetak prategang yang berbentuk U-shell didaerah gempa, digunakan peraturan-peraturan gabungan antara lain : ACI 318-83, NZS 3101 dan PPTGIUG 83. Hal ini disebabkan karena belum adanya suatu peraturan yang membahas perencanaan tersebut secara mendetail tetapi hanya konsep-konsep dasar saja yang disinggung didalamnya.

Metode perencanaan dibawah ini sangat penting untuk mempertimbangkan pengaruh dari balok prategang dan pracetak yang berbentuk U tersebut.

1. Kekuatan Lentur Balok

Disyaratkan bahwa dependable flexure strength dari balok sedikitnya harus sama dengan momen ultimate akibat beban gravitasi dan beban gempa.

$$\phi M_i \geq M_u \quad \text{-----} \quad (5.1)$$

dimana : ϕ = strength reduction factor

$$= 0.9$$

M_i = ideal (nominal) flexural strength

Beberapa analisa yang dipakai pada perencanaan kekuatan lentur balok :

1. Sistim debonding (Kasus dimana daerah sendi plastis terjadi pada ujung balok dekat muka kolom tidak dilekatkan).

Anggapan :

- a. Pada daerah perletakan, M_i didasarkan pada penampang inti balok (core) yang berupa beton cor setempat.
- b. Diluar daerah perletakan, M_i didasarkan pada penampang komposit.

Dimana pada aksi komposit ini, pemindahan gaya geser pada sisi sebelah dalam dari balok U antara pracetak dengan beton cor setempat dapat berlangsung dengan baik serta panjang penyaluran yang dibutuhkan dari baja prategang harus juga dipenuhi. Panjang penyaluran baja prategang (kira-kira 150 diameter strand) harus ditambah dengan 200 mm untuk keadaan yang memperbolehkan penurunan kekuatan lekatan antara core dengan balok U (bond degradation).

Sedangkan momen rencana ultimate akibat pembebanan gravitasi dan gempa ($1.0 D + 1.3 L + E$) didistribusikan terlebih dahulu sesuai dengan peraturan New Zealand.

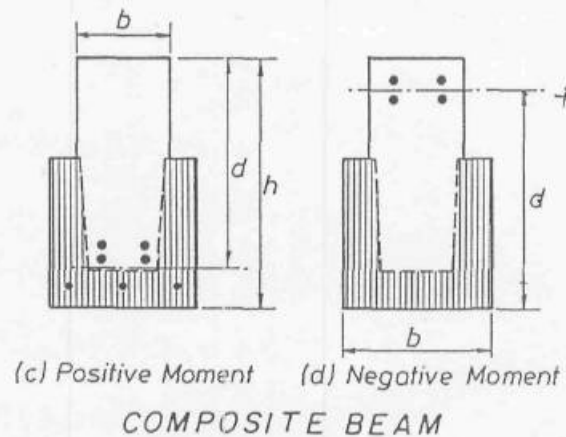
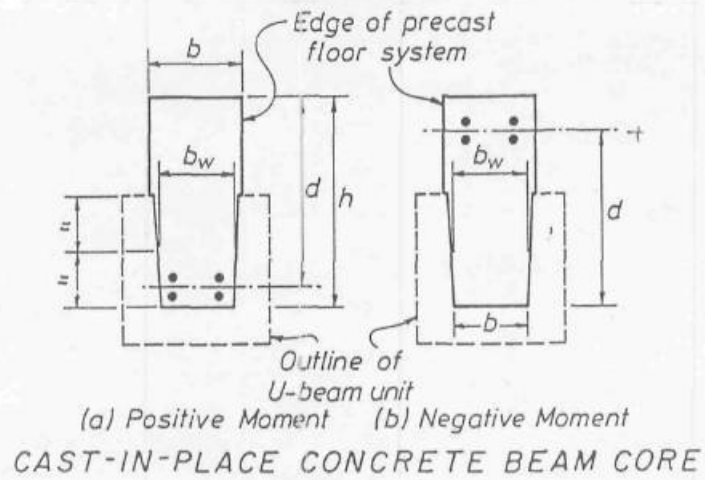
Pada waktu momen negatif terjadi pada perletakan, balok U pracetak harus diberi tulangan atas untuk mencegah keruntuhan seperti yang ditunjukkan pada gambar (5.2), keruntuhan ini terjadi jika lekatan antara balok U pracetak dan core didaerah perletakan dihilangkan (debonding) serta tumpuan balok u pada kolom hancur.

2. Sistim bonding (kasus dimana daerah sendi plastis terjadi pada ujung balok dekat muka kolom dilekatkan).

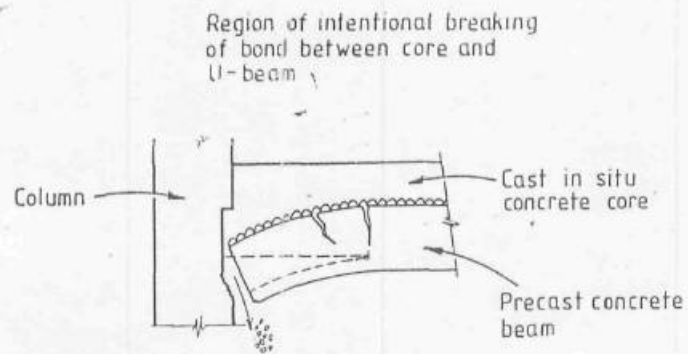
Anggapan :

- a. Pada daerah perletakan maupun diluar daerah perletakan, M_i didasarkan pada penampang komposit.

Pada sistim ini, selisih dari momen yang terjadi dengan



Gambar 5.1. Penampang yang ditinjau



Gambar 5.2. merusakkan akibat momen negatif

kapasitas penampang core pada perletakan didistribusikan ketengah-tengah bentang.

3. Sistim relocated (kasus dimana terjadi pemindahan daerah sendi plastis sejauh tinggi balok dari muka kolom).

Anggapan :

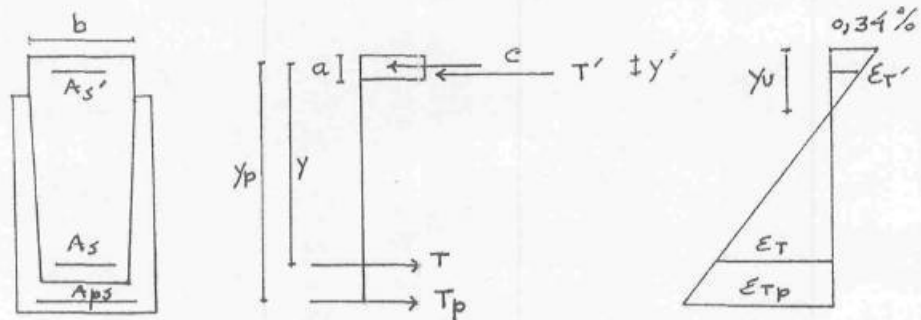
- a. Pada daerah sendi plastis, M_i didasarkan pada core saja.
- b. Diluar daerah perletakan, M_i didasarkan pada penampang komposit.

Pada sistim relocated ini daerah muka kolom sampai sendi plastis harus direncanakan berlebihan (over designing) untuk menjamin bahwa daerah tersebut tidak akan terbentuk sendi plastis.

Sesuai dengan peraturan tentang rasio tulangan baja dan parameter-parameter lainnya maka dimensi dari penampang balok sangat diperlukan pada perencanaan kekuatan lentur balok. Lebar dari permukaan tekan b , tinggi efektif d dan tinggi penampang h . Kesemuanya ini sangat tergantung dari arah momen dan letak penampang balok yang ditinjau (dapat dilihat pada gambar 5.1).

Kapasitas momen pada penampang komposit direncanakan berdasarkan metode partial prestresing dalam keadaan ultimate. Dua kondisi yang harus dipenuhi dalam metode tersebut adalah keseimbangan gaya dan keseimbangan momen.

Stres-strain diagram balok U dapat dilihat pada gambar berikut



Keterangan : C = gaya tekan beton

$$= 0.85 f_c' \cdot a \cdot b$$

T' = gaya tekan tulangan non prategang

T = gaya tarik tulangan non prategang

T_p = gaya tarik tulangan prategang

a = tinggi dari tegangan blok persegi ekuivalen

f_c' = tegangan tekan silinder beton

y_u = jarak cgc dari serat tekan

b = lebar penampang balok

Langkah-langkah perhitungan dari metode tersebut adalah sebagai berikut :

a. Anggap tulangan baja tekan leleh, tulangan baja tarik dan tulangan baja pratekan mencapai ultimate.

$$T' = A_s' f_y$$

$$T = A_s f_y$$

$$T_p = A_{ps} f_{pu}$$

dimana : f_y = tegangan baja leleh

f_{pu} = tegangan ultimate baja prategang

A_s = luas tulangan tarik

A_s' = luas tulangan tekan

A_{ps} = luas tulangan pratekan

b. Dari persamaan $EH = 0$ didapat :

$$a = \frac{0.85 f_c' . a . b + A_s' . f_y}{A_s . f_y + A_{ps} . f_{pu}}$$

c. Berdasarkan diagram regangan check apakah tulangan tekan leleh, yang memenuhi: $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$ dimana $\epsilon_y = f_y/E_s$

d. Jika ternyata tulangan tekan tidak leleh maka ulangi langkah a s/d c dengan menganggap tulangan tekan tidak leleh.

e. Check tulangan tarik dimana $\epsilon_s \geq \epsilon_y$

f. Check juga apakah tulangan pratekan memenuhi stress strain diagram yang dapat dilihat pada gambar (5.3).

g. Tentukan lengan momen (y' , y dan y_p).

h. Hitung harga momen dengan persamaan :

$$M = T . y + T_p . y_p - T' . y'$$

i. Kapasitas momen ultimate:

$$\mu_u = \phi M, \text{ dimana } \phi = 0.9$$

2. Panjang Daerah Sendi Plastis Potensial Pada Balok

Didalam perencanaan balok selama beban gempa berlangsung akan terbentuk sendi plastis di muka kolom pada sistim debonding dan bonding serta pada jarak h (tinggi balok) dari muka kolom untuk sistim relocated.

Menurut peraturan NZS 3101 daerah sendi plastis potensial dari balok haruslah dipertimbangkan sebagai berikut :

a. Bila potongan kritis terletak dimuka kolom; adalah sepanjang 2 kali dari tinggi balok diukur dari potongan

Kritis tersebut ketengah bentang pada kedua ujung balok untuk sistim debonding dan bonding.

- b. Bila potongan kritis terletak pada jarak terletak pada jarak tidak kurang dari tinggi balok (h) atau 500 mm dari muka kolom; adalah paling sedikit $0.5 h$ atau 250 mm dari potongan kritis ketengah bentang pada relocated.

Panjang sendi plastis ini dapat juga merupakan daerah akibat dari pelelehan tulangan lentur baik tekan maupun tarik. Dianjurkan bahwa panjang sendi plastis tersebut diatas diambil sama dengan tinggi total dari penampang balok komposit.

3. Kekuatan Geser Dari Balok

Disyaratkan bahwa dependable shear strength dari balok sedikitnya harus sama dengan yang terjadi akibat beban gravitasi dalam keadaan ultimate.

$$\phi \cdot v_1 \cdot b_w \cdot d \geq V_u \text{ ---- (5.2)}$$

dimana : ϕ = strength reduction factor

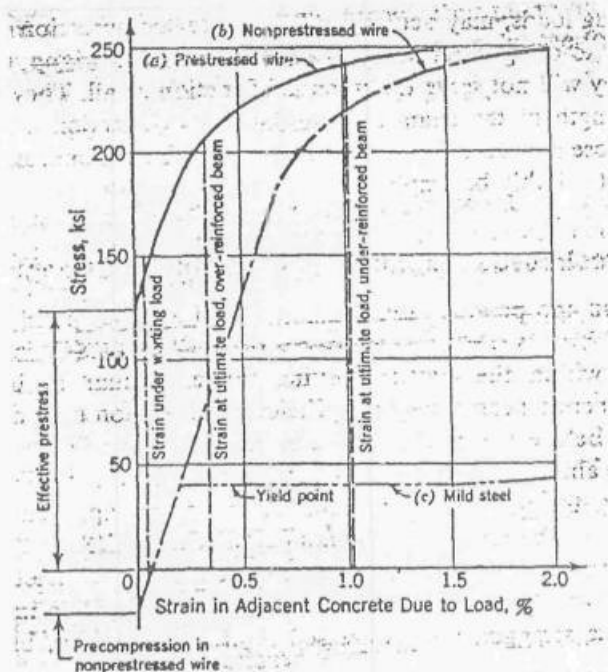
$$= 0.85$$

v_1 = total ideal shear dari beton dan tulangan geser

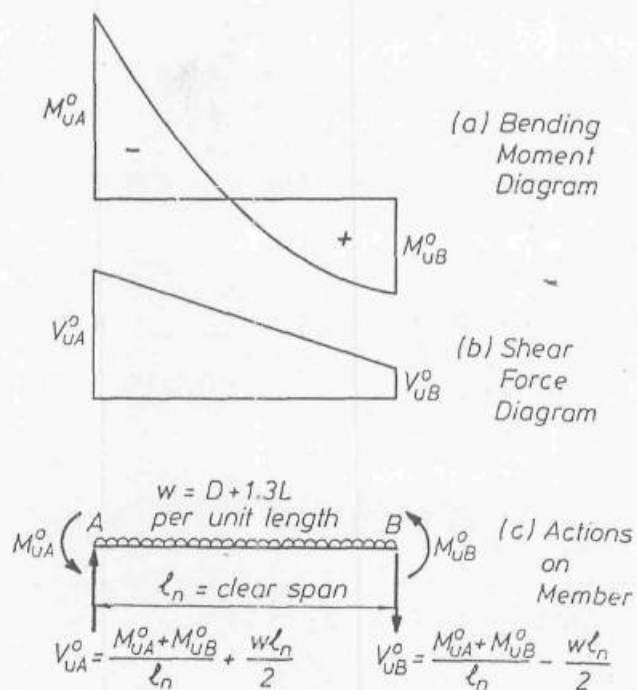
Selanjutnya perencanaan didaerah gempa mensyaratkan bahwa ideal shear strength sedikitnya harus sama dengan shear strength akibat overstrength momen balok dan beban gravitasi yang dikalikan faktor beban.

$$v_1 \cdot b_w \cdot d \geq V_u^0 \text{ ---- (5.3)}$$

Pada daerah sendi plastis potensial di muka kolom pada ujung



Gambar 5.3. diagram stress-strain dari baja prategang dan baja non prategang



Gambar 5.4. perhitungan gaya geser debonding dan bonding

balok (sistim debonding dan bonding) dan pada jarak h dari muka kolom (sistim relocated) hanya didasarkan pada core saja. Dimensi b_w yang digunakan pada persamaan geser diatas diambil sama dengan lebar pada setengah tinggi balok core dan dimensi d didefinisikan pada gambar (5.1.a) dan (5.1.b). Diluar daerah sendi plastis, gaya geser ditahan oleh penampang komposit dimana parameter-parameter yang digunakan dapat dilihat pada gambar (5.1.c) dan (5.1.d).

Tegangan geser yang terjadi pada daerah sendi plastis dianggap sepenuhnya ditahan oleh tulangan geser. Hal ini berarti $v_c = 0$ yang disebabkan oleh penurunan ketahanan beton terhadap geser selama beban gempa berlangsung.

Diluar daerah sendi plastis, gaya geser ditahan oleh penampang komposit dimana harga d dapat dilihat pada gambar (5.1.c) dan (A.1.d) sedangkan b_w diambil sama dengan lebar dari serat tekan atas core.

Penetapan gaya geser V_u overstrength digambarkan secara jelas pada gambar 5.4 untuk sistim debonding dan bonding dan pada gambar 5.5 untuk sistim relocated.

Momen overstrength dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu^0 = a M_i \text{ ----- (5.4)}$$

dimana : $a = 1.25$ yang mempertimbangkan pengaruh dari strain hardening tulangan dan kemungkinan meningkatnya tegangan leleh.

M_i = ideal flexural strength

M_i untuk perencanaan gesaer pada masing-masing sistim dapat diperinci sebagai berikut :

- a. Sistim debonding : - Mi positif didasarkan pada core
- Mi negatif didasarkan pada penampang komposit
- b. Sistim bonding : - Mi positif didasarkan pada penampang komposit
- Mi negatif didasarkan pada penampang komposit
- c. Sistim relocated : - Mi positif didasarkan pada core
- Mi negatif didasarkan pada core

Penggunaan overstrength moment adalah untuk menjamin bahwa keruntuhan akibat geser akan cukup rendah.

Fungsi tulangan sengkang pada daerah sendi plastis potensial adalah :

- harus cukup terjamin pengekangan terhadap beton
 - dapat mencegah terjadinya tekuk pada tulangan lentur tekan
- Momen bolak balik akibat beban gempa di daerah sendi plastis potensial dapat menyebabkan pelelehan tulangan baja non prestress pada core, baik tekan maupun tarik. Oleh karena itu maka jarak sengkang dibatasi sebagai berikut :

- $s < 150 \text{ mm}$
- $s < 6 \text{ kali diameter tulangan}$
- $s < d/4$

Disamping itu gaya leleh dari tulangan sengkang (tie force) dibatasi sebagai berikut :

$$\text{Tie force} > \frac{1}{16} \times \text{longitudinal bar force} \times \frac{100}{s}$$

dimana : s = jarak sengkang (mm)

4. Tegangan Geser Pada Bidang Kontak Sebelah Dalam Balok

Aksi komposit dari suatu penampang pada daerah sendi plastis potensial diabaikan, hal ini disebabkan karena adanya penurunan lekatan (degradation of bond) antara pracetak dan core selama beban gempa berlangsung.

Sekalipun demikian tegangan geser dalam harus diperiksa agar tidak melampaui yang diijinkan.

Komponen tegangan geser terdiri dari tegangan geser horisontal dan tegangan geser vertikal.

Pada perencanaan secara umum, tegangan geser horisontal direncanakan dengan perumusan :

$$v_{dh} = \frac{V_u}{\phi b_v d} \quad (5.5)$$

Dimana : V_u = gaya geser ultimate

ϕ = strength reduction factor

= 0.85

d = tinggi efektif penampang komposit

b_v = total lebar sisi sebelah dalam

= $2 h_i + b_i$

h_i = tinggi vertikal sisi sebelah dalam dari balok U

b_i = lebar sisi sebelah dalam dari balok U

Dalam perencanaan didaerah gempa, tegangan geser horisontal dihitung dengan perumusan :

$$v_{dh} = \frac{V_u^0}{b_v d} \quad (5.6)$$

Dimana :

V_u^0 = gaya geser vertikal akibat momen balok
overstrength (overstrength beam moment)
dan beban gravitasi yang dikalikan
faktor beban (factored gravity load).

Tegangan geser vertikal dihitung berdasarkan beban dari atas yaitu berat sendiri balok U, berat sendiri lantai dan beban hidup yang langsung diterima oleh lantai.

Jumlah vektor dari rata-rata tegangan geser horisontal v_{dh} dan tegangan geser vertikal v_{dv} harus tidak melebihi dari yang diijinkan. Dalam hal ini tegangan geser yang diijinkan diambil sebesar 0.55 MPa.

$$\sqrt{v_{dh} + v_{dv}} \leq 0.55 \text{ MPa} \text{ ----- (5.7)}$$

5. Kolom

Perencanaan kolom sama seperti pada perencanaan portal daktail beton bertulang biasa (ductile moment resisting reinforced concrete frames) yaitu sesuai dengan PPTGIUG 83.

Daya pikul momen kolom minimum :

- Kolom-kolom harus direncanakan terhadap momen lentur dalam keadaan batas akibat kombinasi pembebanan. Momen lentur batas dalam kolom untuk perencanaan didapatkan dari momen lentur elastis, yang dikalikan dengan perbandingan antara jumlah kapasitas momen sesungguhnya dari balok pada kedua belah pihak dari titik pertemuan, dan jumlah momen lentur elastis dari balok yang sama harus dikalikan dengan

Koeffisien 1,5 untuk memperhitungkan pengaruh gempa yang bekerja dalam arah tegak lurus pada arah yang ditinjau, dan untuk menjamin bahwa pelelehan akan terjadi lebih dahulu di dalam balok serta untuk memperhitungkan ketidakseragaman pengambilan asumsi pada analisa perhitungan momen. Pada taraf dimana momen lentur kolom ditahan langsung oleh sistem pondasi, Koeffisien 1,5 dapat dikurangi sampai 1,3.

Kolom portal harus direncanakan terhadap momen lentur batas menurut cara diatas, dikombinasikan dengan gaya aksial batas yang ditentukan untuk masing-masing arah utama secara terpisah. Jumlah tulangan kolom yang menentukan harus disebarakan merata sepanjang keempat sisi penampang kolom.

Gaya aksial Kolom:

- Gaya aksial kolom akibat gempa diperhitungkan terhadap momen leleh ujung balok dari kedua arah portal dengan faktor Koeffisien 1,2

Gaya aksial batas rencana :

- Gaya aksial batas rencana kolom merupakan akibat kombinasi pembebanan antara beban gravitasi dan beban gempa.

Arah x : $N_{ux} = 1,05 N_{grav} \pm N_{Gx} \pm 0,3 N_{Gy}$

arah y : $N_{uy} = 1,05 N_{grav} \pm N_{Gy} \pm 0,3 N_{Gx}$

Gaya geser kolom :

- Gaya geser kolom dalam keadaan batas akibat kombinasi pembebanan. Momen tersebut harus direncanakan berdasarkan tulangan yang dipasang dan berdasarkan σ_{au} yang memberikan regangan 0,2%. Gaya geser ini harus dikalikan dengan koeffisien 1,2 untuk memperhitungkan adanya ketidakseragaman dalam mutu baja.

Kapasitas momen sesungguhnya dari kolom harus dihitung dengan meninjau bersama-sama dengan gaya aksial batas yang bersangkutan, yang mana antara lain dapat ditempuh dengan cara melalui diagram interaksi.

6. Pertemuan Balok-Kolom.

Perencanaan pertemuan balok kolom ini sama seperti pada perencanaan portal beton bertulang biasa yaitu sesuai dengan PPTGIUG 83.

Perencanaan gaya-gaya :

- Gaya geser batas horizontal yang harus ditinjau dalam perencanaan pertemuan balok kolom, ditentukan sebagai berikut :

Untuk pertemuan dalam :

$$V_{uh} = 1,2 (A_i \sigma_{au} + A_i' \sigma_{au}) - 1,05 V_{ij}$$

Untuk pertemuan luar :

$$V_{uh} = 1,2 A_i \sigma_{au} - 1,05 V_{ij}$$

Tergantung yang besar

$$V_{uh} = 1,2 A_i' \sigma_{au} - 1,05 V_{ij}$$

Rumus tersebut berdasarkan anggapan bahwa tulangan balok pada kedua belah pihak dari titik pertemuan dalam keadaan batas sudah leleh, dimana koefisien 1,2 adalah untuk memperhitungkan kemungkinan adanya ketidakseragaman dalam mutu baja dan koefisien 1,05 adalah untuk pembebanan sementara.

Perencanaan geser :

- sesuai dengan pasal 6.8.5c sampai dengan pasal 6.8.5h pada PPIGIUG'83