

BAB III

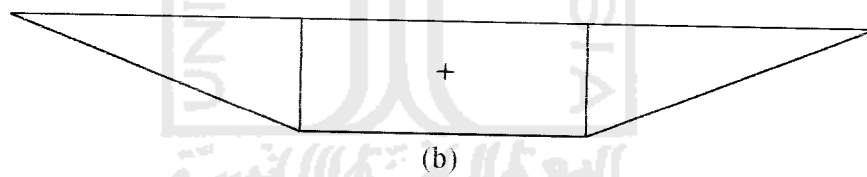
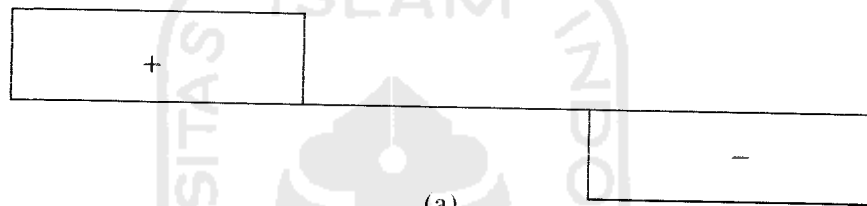
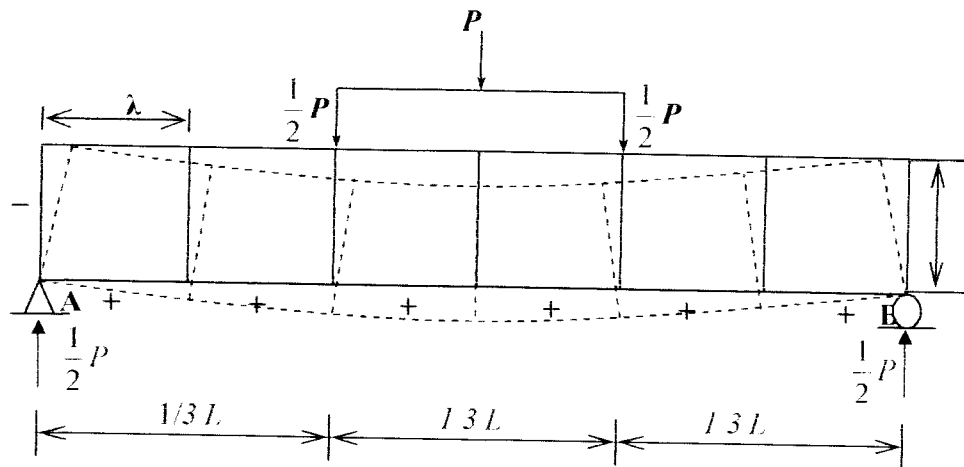
LANDASAN TEORI

Agar penelitian yang dilakukan tidak menyimpang maka diperlukan adanya suatu landasan teori supaya hasil yang dicapai dapat dipertanggung jawabkan dan disesuaikan dengan teori-teori dan rumus yang biasa digunakan.

3.1 Pendahuluan

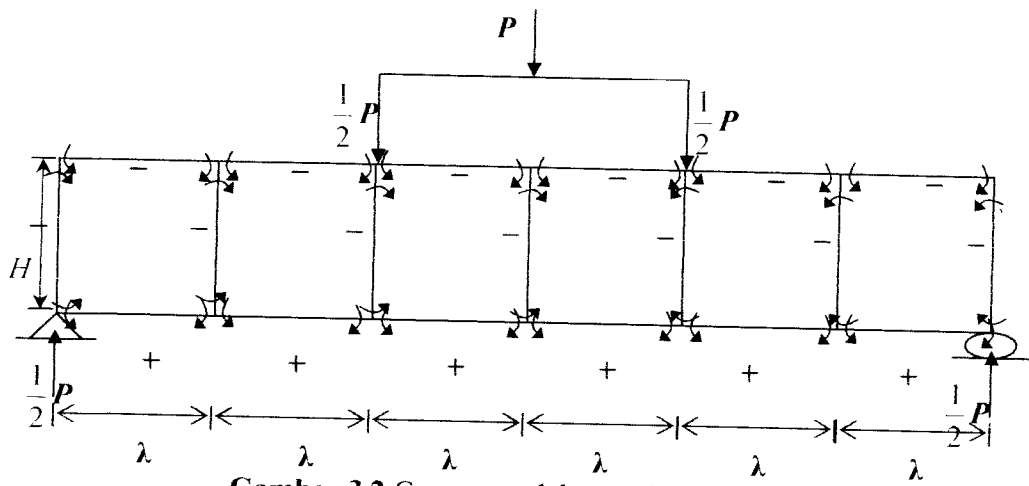
Struktur rangka kaku terbuat dari kolom-kolom dan balok-balok yang dihubungkan secara kaku. Kekakuan bangunan oleh batang-batang menerus diperlukan untuk menahan gaya-gaya lateral dan gaya aksial. Apabila diberi beban vertikal yang didistribusikan secara merata, rangka kaku ini akan mengalami deformasi seperti pada Gambar 3.1 (Wolfgang Schueller, 1989).

Tulangan geser (sengkang) pada balok terlentur merupakan komponen struktur untuk menahan gaya geser yang sedemikian besar sehingga diluar kemampuan beton untuk menahannya. Keruntuhan geser merupakan hal yang harus dihindari karena sifatnya yang tiba – tiba tanpa ada peringatan terlebih dahulu.



Gambar 3.1 Balok *viereendeel* dianggap sebagai balok solid dengan beban luar :
 (a) diagram gaya geser ; (b) diagram momen

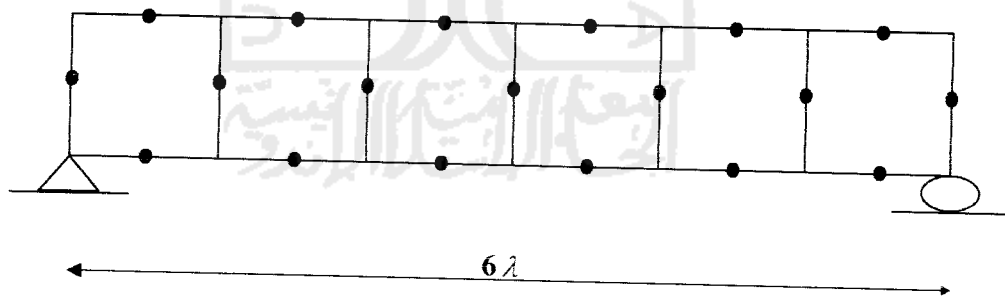
Beban transversal pada rangka *viereendeel* dukungan sendi rol akan menyebabkan gaya aksial tekan dan momen pada batang tepi atas dan batang transversal serta gaya aksial tarik dan momen pada batang tepi bawah seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gaya-gaya dalam pada balok *vierendeel*

3.2 Analisis Gaya Batang

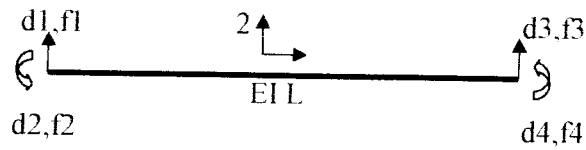
Banyak cara untuk menganalisis struktur rangka *vierendeel*. Salah satu cara adalah dengan menggunakan metode portal, yaitu dengan menganggap titik-titik belok dianggap berada ditengah-tengah elemen batang tepi dan elemen batang transversal seperti terlihat pada Gambar 3.3 (Wolfgang Schueller, 1989).



Gambar 3.3 Titik-titik belok pada balok *vierendeel*

Selain dengan metode portal analisis juga bisa dilakukan dengan SAP2000, dalam SAP2000 metode yang digunakan adalah metode matrik. Berikut ini contoh analisis dengan metode matrik untuk batang lentur dan batang tekan / tarik (Susastrawan, 1991).

Metode matrik untuk batang lentur seperti dibawah ini :



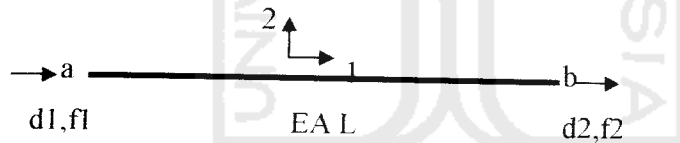
$$f = k \cdot d$$

$$\begin{Bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ F4 \end{Bmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12L & -6L & 12L & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} d1 \\ d2 \\ d3 \\ d4 \end{Bmatrix}$$

$$\alpha = \frac{EI}{L^3}$$

F = Gaya
 k = Kekakuan
 d = Defleksi

Metode matrik untuk persamaan dasar batang tekan atau tarik :



$$\begin{Bmatrix} F1 \\ F2 \end{Bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} d1 \\ d2 \end{Bmatrix}$$

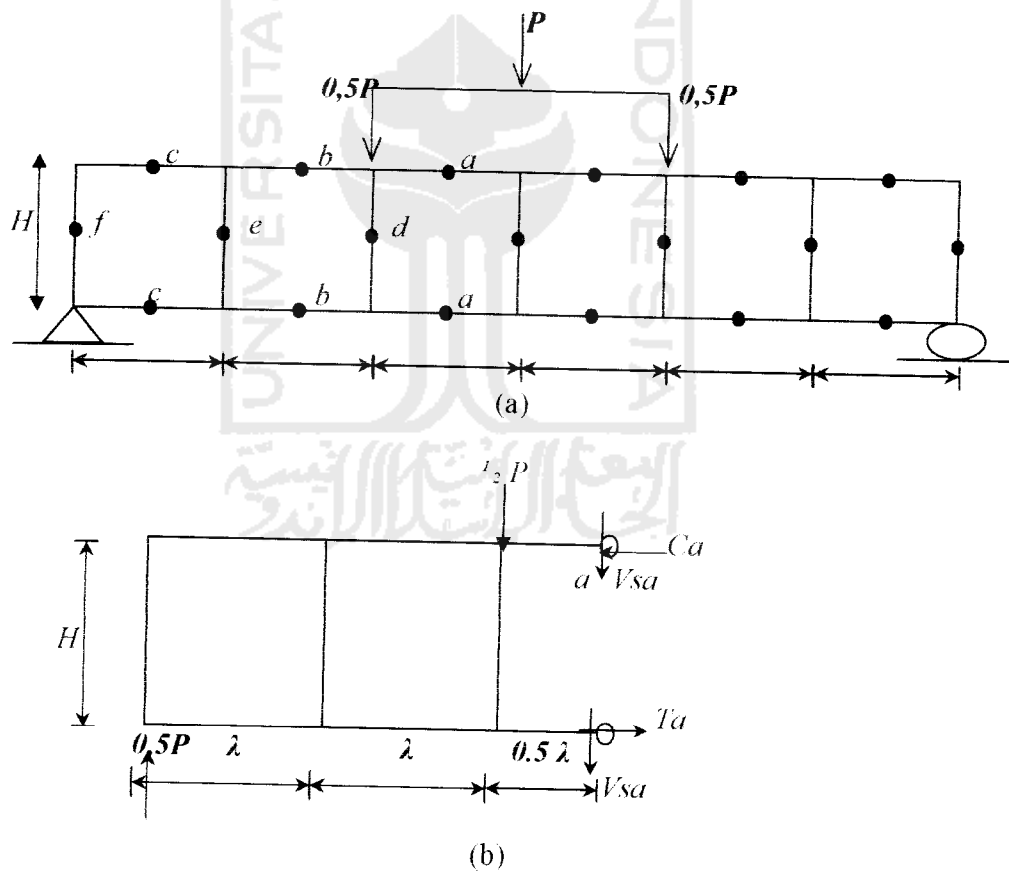
Kesimpulan :

1. Prinsip dasar antara batang lentur dan batang tekan / tarik adalah sama
 ($f = k \cdot d$)
2. Perbedaan pada keduanya adalah :
 - a. batang lentur (4 dof),
 - b. batang aksial (2 dof).

Berikut dibawah ini analisis gaya batang dengan menggunakan metode portal.

3.2.1 Gaya Aksial Pada Batang Tepi

Untuk menghitung gaya batang dengan metode portal dapat dilakukan dengan memotong rangka *viendeel*. Kesetimbangan rotasi di sekitar simpul pada daerah potongan menghasilkan gaya batang aksial seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. (Wolfgang Schueller, 1989).



Gambar 3.4 (a) Titik belok pada balok *viendeel*

(b) *Free body* balok *viendeel* pada titik belok *a*

Gaya batang aksial pada balok *viendeel* dapat dicari menggunakan keseimbangan momen pada titik (*a*)

$$\sum M_a = 0$$

$$\frac{1}{2} P \times 2,5 \lambda - \frac{1}{2} P \times 0,5 \lambda - C_a H = 0 \quad (1)$$

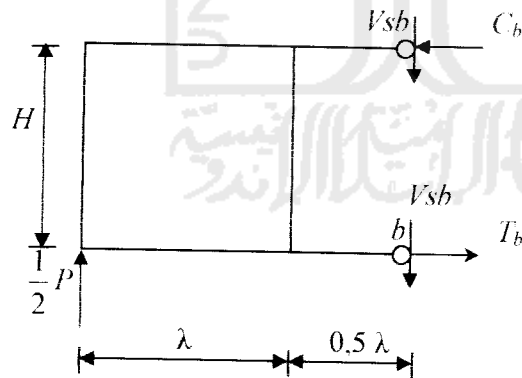
$$C_a = \frac{P \lambda}{H} \quad (2)$$

Keseimbangan horizontal menghasilkan gaya aksial batang pada batang tepi bawah T_a

$$\sum H = 0$$

$$T_a = C_a = \frac{P \lambda}{H} \quad (3)$$

Untuk mencari gaya batang pada batang (*b*) dapat dilakukan dengan menggunakan keseimbangan momen pada titik (*b*) seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Free body balok *viendeel* pada titik belok *b* pada Gambar 3.4.

$$\sum M_b = 0$$

$$\frac{1}{2} P \times 1,5 \lambda - C_b H = 0 \quad (4)$$

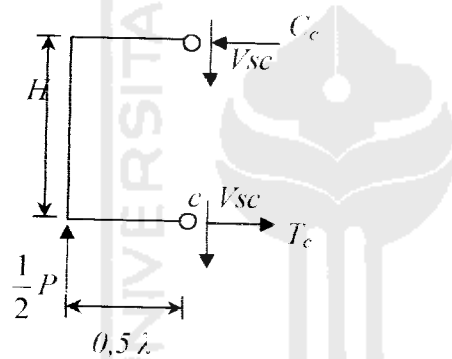
$$C_b = \frac{3}{4} \frac{P\lambda}{H} \quad (5)$$

Keseimbangan horizontal menghasilkan gaya aksial batang pada batang tepi bawah T_b

$$\sum H = 0$$

$$T_b - C_b = \frac{3}{4} \frac{P\lambda}{H} \quad (6)$$

Untuk menghitung gaya aksial batang (c) dapat dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan momen pada titik (c) seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Free body balok vierendeel pada titik belok c pada Gambar 3.4.

$$\sum M_c = 0$$

$$\frac{1}{2} P \times 0,5\lambda - C_c H = 0 \quad (7)$$

$$C_c = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \quad (8)$$

Keseimbangan horizontal menghasilkan gaya aksial batang pada batang tepi bawah T_c

$$\Sigma H = 0$$

$$T_c - C_c = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \quad (9)$$

Dari hasil analisis di atas, tampak bahwa gaya aksial pada batang tepi akan semakin besar mendekati tengah bentang.

3.2.2 Gaya Geser Pada Batang Tepi

Perhitungan gaya geser pada batang V_{sa} dapat dilakukan dengan merujuk pada Gambar 3.4. Dengan keseimbangan vertikal :

$$\Sigma V = 0$$

$$2V_{sa} + \frac{1}{2}P - \frac{1}{2}P = 0 \quad (10)$$

$$V_{sa} = 0 \quad (11)$$

Perhitungan gaya geser pada batang V_{sb} dapat dilakukan dengan merujuk pada Gambar 3.5 Dengan keseimbangan vertikal :

$$\Sigma V = 0$$

$$2V_{sb} - \frac{1}{2}P = 0 \quad (12)$$

$$V_{sb} = \frac{1}{4}P \quad (13)$$

Merujuk dari Gambar 3.6, besar gaya geser sepanjang sepertiga bentang di sisi kiri dan kanan adalah sama, maka :

$$\Sigma V = 0$$

$$2V_{sc} - \frac{1}{2}P = 0 \quad (14)$$

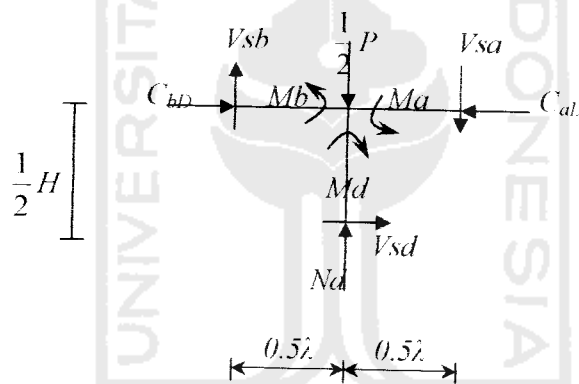
$$V_{sc} = \frac{1}{4}P \quad (15)$$

Dari hasil analisis gaya geser pada batang tepi, tampak bahwa gaya geser maksimum adalah pada sisi sepertiga bentang paling tepi.

3.2.3 Momen Pada Elemen Tepi

Momen maksimum terjadi pada perpotongan antara batang dan kolom dapat diketahui dengan kesetimbangan rotasi pada titik perpotongan antara batang tepi dan batang transversal.

Untuk mengetahui momen pada batang (a) dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Gambar gaya batang dan momen

Kesetimbangan rotasi pada perpotongan batang (a) dan (b) dengan batang transversal dapat dicari momen pada batang (a) dan batang (b) adalah :

$$M_a = V_{sa} \cdot \frac{1}{2} \lambda \quad (16)$$

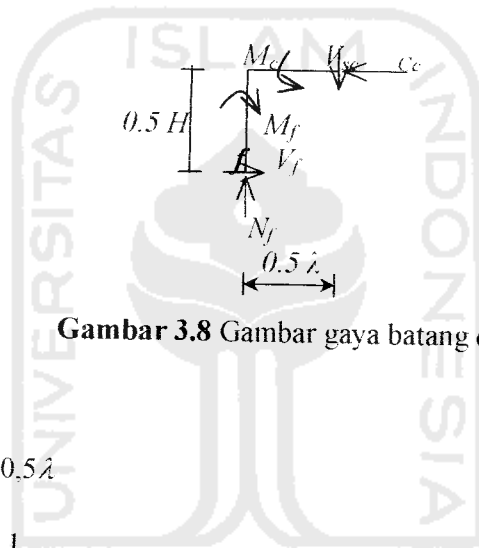
$$M_b = 0 \quad (17)$$

$$M_b = V_{sb} \cdot \frac{1}{2} \lambda \quad (18)$$

$$M_b = \frac{1}{4} P \cdot \frac{1}{2} \lambda \quad (19)$$

$$M_b = \frac{1}{8} P \lambda \quad (20)$$

Perhitungan momen pada batang (c) dapat dilihat dari Gambar 3.8. Dengan keseimbangan rotasi pada titik perpotongan antara batang (c) dan (f), maka :



Gambar 3.8 Gambar gaya batang dan momen

$$M_c = V_{sc} \cdot 0,5 \lambda \quad (21)$$

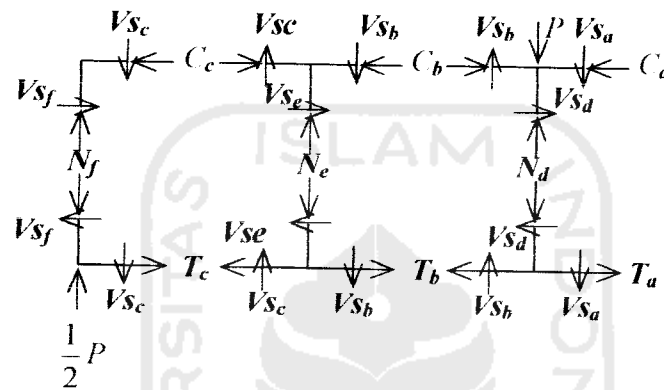
$$M_c = \frac{1}{4} P \cdot \frac{1}{2} \lambda \quad (22)$$

$$M_c = \frac{1}{8} P \lambda \quad (23)$$

Dari analisis di atas, nampak bahwa momen pada batang atas dan bawah, semakin ke tepi semakin besar.

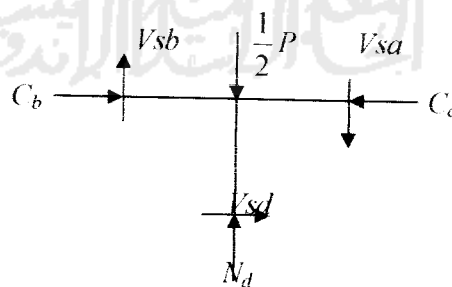
3.2.4 Gaya aksial pada batang transversal

Untuk menghitung gaya aksial batang transversal dapat dilakukan dengan menggunakan potongan pada struktur rangka seperti Gambar 3.6 dengan memasukkan gaya-gaya batang yang telah diketahui pada perhitungan di atas (Wolfgang Schueller, 1989).



Gambar 3.9 Free body potongan balok vierendeel

Untuk menghitung gaya aksial pada batang d dengan menggunakan kesetimbangan vertikal seperti pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Potongan batang d pada Gambar 3.4

Untuk mendapatkan gaya batang pada batang (d) dapat digunakan kesetimbang vertikal :

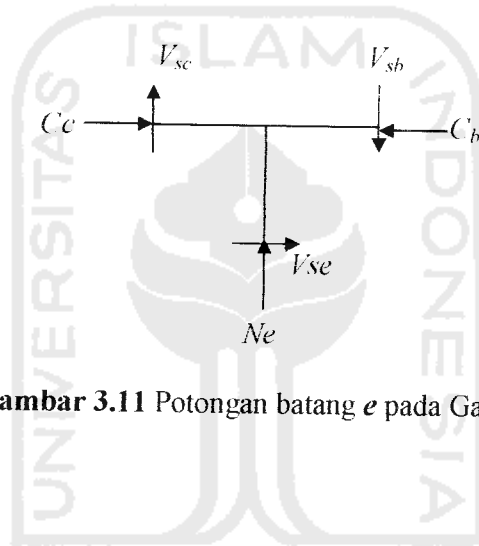
$$\Sigma V = 0$$

$$\frac{1}{2}P - V_{sa} - V_{sb} - N_d = 0 \quad (24)$$

$$\frac{1}{2}P = 0 - \frac{1}{4}P - N_d = 0 \quad (25)$$

$$N_d = \frac{1}{4}P \quad (26)$$

Untuk mendapatkan gaya batang pada batang *(e)* dapat digunakan keseimbangan vertikal :



Gambar 3.11 Potongan batang *e* pada Gambar 3.4.

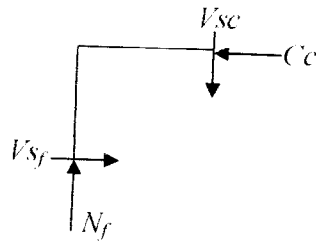
$$\Sigma V = 0$$

$$V_{sb} - V_{sc} - N_e = 0 \quad (27)$$

$$\frac{1}{4}P - \frac{1}{4}P - N_e = 0 \quad (28)$$

$$N_e = 0 \quad (29)$$

Untuk mendapatkan gaya batang pada batang *(f)* dapat digunakan keseimbangan vertikal :



Gambar 3.12 Potongan batang f pada Gambar 3.4.

$$\sum V = 0$$

$$V_{sc} - N_f = 0 \tag{30}$$

$$\frac{1}{4}P - N_f = 0 \tag{31}$$

$$N_f = \frac{1}{4}P \tag{32}$$

Dari analisis di atas tampak, bahwa gaya aksial pada batang transversal terjadi pada batang (d) yang berjarak λ , dan batang (f).

3.2.5 Gaya Geser Pada Batang Transversal

Perhitungan gaya geser pada batang V_{sd} dapat dilakukan dengan merujuk pada Gambar 3.10

$$\sum H = 0$$

$$C_b - C_a - V_{sd} = 0 \tag{33}$$

$$\frac{3}{4} \frac{P\lambda}{H} - \frac{P\lambda}{H} - V_{sd} = 0 \tag{34}$$

$$V_{sd} = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \tag{35}$$

Perhitungan gaya geser pada batang V_{se} dapat dilakukan dengan merujuk pada Gambar 3.11.

$$\sum H = 0$$

$$C_c - C_b + V_{se} = 0 \quad (36)$$

$$\frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} - \frac{3}{4} \frac{P\lambda}{H} + V_{se} = 0 \quad (37)$$

$$V_{se} = \frac{1}{2} \frac{P\lambda}{H} \quad (38)$$

Perhitungan gaya geser pada batang V_{sf} dapat dilakukan dengan merujuk pada Gambar 3.12.

$$\sum H = 0$$

$$C_c - V_{sf} = 0 \quad (39)$$

$$\frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} - V_{sf} = 0 \quad (40)$$

$$V_{sf} = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \quad (41)$$

Dari analisis di atas tampak, bahwa gaya geser terbesar terjadi pada batang transversal (e).

3.2.6 Momen Pada Batang Transversal

Kapasitas momen lentur pada batang transversal dapat dicari dengan keseimbangan rotasi pada perpotongan batang tepi dan batang transversal. Dari Gambar 3.10 akan dicari nilai momen pada batang (d).

$$M_d = V_{sd} \times 0,5H \quad (42)$$

$$M_d = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \times 0,5H \quad (43)$$

$$M_d = \frac{1}{8} P\lambda \quad (44)$$

Momen pada batang (e) dapat dicari dengan keseimbangan rotasi pada perpotongan batang tepi dan batang transversal seperti tampak pada Gambar 3.11.

$$M_e = V_{se} \times 0,5H \quad (45)$$

$$M_e = \frac{1}{2} \frac{P\lambda}{H} \times 0,5H \quad (46)$$

$$M_e = \frac{1}{4} P\lambda \quad (47)$$

Momen pada batang (f) dapat dicari dengan keseimbangan rotasi pada perpotongan batang tepi dan batang transversal seperti tampak pada Gambar 3.12.

$$M_f = V_{sf} \times 0,5H \quad (48)$$

$$M_f = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \times 0,5H \quad (49)$$

$$M_f = \frac{1}{8} P\lambda \quad (50)$$

Dari analisis di atas tampak, bahwa momen terbesar terjadi pada batang transversal (e).

3.2.7 Pengaruh Jarak Sengkang Terhadap Balok *Vierendeel* Beton

Tinjauan pengaruh jarak sengkang disini meliputi : tinjauan terhadap beban (P), tinjauan terhadap geser, dan tinjauan terhadap momen.

A. Pengaruh Jarak Sengkang Terhadap Gaya Geser

Dalam membahas balok terlentur hendaknya mempertimbangkan pula bahwa pada saat yang sama balok juga menahan gaya geser akibat lentur. Untuk komponen struktur beton bertulang, apabila gaya geser yang bekerja sedemikian besar hingga diluar kemampuan beton untuk menahannya, perlu memasang baja tulangan tambahan (sengkang) untuk menahan geser tersebut. Untuk mengetahui pengaruh jarak sengkang terhadap geser dapat digunakan persamaan berikut ini (Edward G. Nawy, 1990).

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (51)$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} \quad (52)$$

Dengan metode pembebanan terdistribusi merata menjadi P_1 dan P_2 yang mempunyai nilai $0,5 P$ untuk P_1 dan $0,5 P$ untuk P_2 maka :

$$V_u = \frac{1}{4} P \quad (53)$$

$$P = 4 \cdot V_u \quad (54)$$

Apabila gaya geser akibat beban luar (V_u) = ϕV_n dengan $\phi V_n = \phi(V_c + V_s)$, didapat persamaan :

$$\phi V_n = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d + \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right) \quad (55)$$

Dalam keadaan ultimit, yaitu tegangan geser $\frac{1}{6} \sqrt{f_c'}$ dan tegangan luluh baja mencapai f_y , maka dengan memasukan persamaan (55) ke persamaan (54) maka persamaan (54) menjadi :

$$P = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d + \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right) \quad (56)$$

Dalam keadaan ultimit tersebut, dengan menggunakan Persamaan (56) hubungan jarak sengkang terhadap beban (P) ditunjukkan oleh Gambar 3.13.

$$A_v = 2 \text{ D } 5,2 \text{ mm} = 42,47 \text{ mm}^2$$

$$f_c' = 10 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

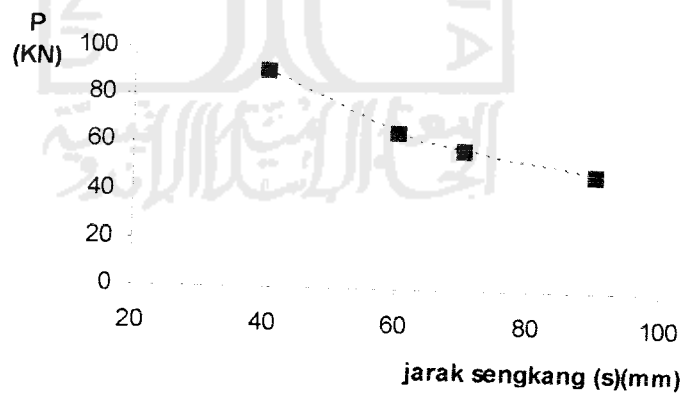
$$b = 120 \text{ mm}$$

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,6$$

Tabel 3.1 Hubungan jarak sengkang terhadap beban

No	Variasi jarak sengkang (mm)	P Teori (KN)
1	40	91,64
2	60	66,14
3	70	58,86
4	90	49,14



Gambar 3.13 Hubungan jarak sengkang terhadap beban

Dari Gambar 3.13 bisa dilihat bahwa jika jarak sengkang (s) semakin besar (renggang) maka akan terjadi degradasi (penurunan) kapasitas beban (P) yang dapat ditahan.

Dengan memasukkan nilai dari Persamaan (56) ke Persamaan (53), maka kapasitas geser balok *viereendeel* menjadi Persamaan (57)

$$V_u = 1/2 \times 4 \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d + \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right)$$

$$V_u = 2 \cdot \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d + \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right) \quad (57)$$

Hubungan jarak sengkang terhadap gaya geser ditunjukkan oleh Gambar 3.14.

$$A_v = 2 D 5,2 \text{ mm} = 42,47 \text{ mm}^2$$

$$f_c' = 10 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

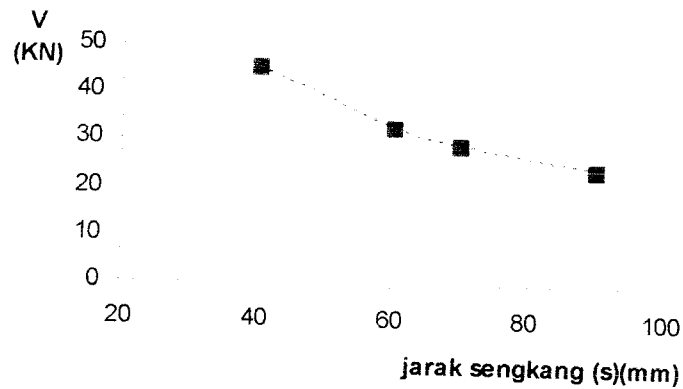
$$b = 120 \text{ mm}$$

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,6$$

Tabel 3.2 Hubungan jarak sengkang terhadap gaya geser

No	Variasi jarak sengkang (mm)	V Teori (KN)
1	40	45,82
2	60	33,07
3	70	29,43
4	90	24,57



Gambar 3.14 Hubungan jarak sengkang terhadap gaya geser

Dari Gambar 3.14 bisa dilihat bahwa jika jarak sengkang (s) yang semakin jauh (renggang) maka akan terjadi penurunan gaya geser.

B. Pengaruh Jarak Sengkang Terhadap Momen

Momen disini ditinjau dari kapasitas momen yang paling maksimum pada elemen rangka *vierendeel*. Momen maksimum pada rangka *vierendeel* terjadi pada batang d maka didapat persamaan (44).

$$Md = \frac{1}{4} P\lambda = \frac{1}{8} P \text{ meter}$$

Dengan menganggap momen ultimit terjadi pada waktu yang bersamaan dengan geser ultimit, maka dengan memasukan nilai P dari persamaan (56) didapat persamaan (58)

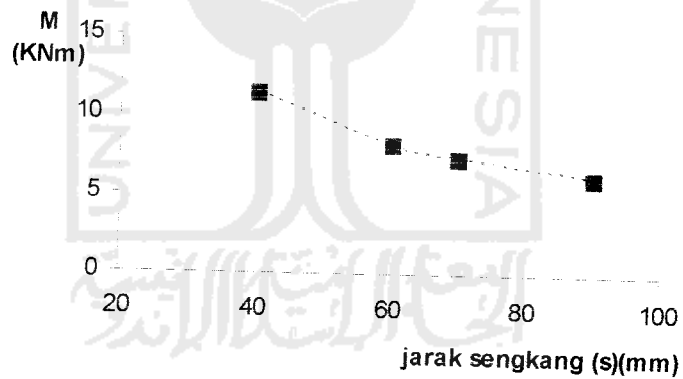
$$Md = \frac{1}{8} \cdot 4\phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d - \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right) \quad (58)$$

Hubungan momen terhadap jarak sengkang ditunjukkan oleh Gambar 3.15.

$$\begin{aligned}A_v &= 2 D 5,2 \text{ mm} = 42,47 \text{ mm}^2 \\f_c' &= 10 \text{ MPa} \\f_y &= 300 \text{ MPa} \\b &= 120 \text{ mm} \\d &= 100 \text{ mm} \\\phi &= 0,6\end{aligned}$$

Tabel 3.3 Hubungan jarak sengkang terhadap momen

No	Variasi jarak sengkang (mm)	M Teori (KNm)
1	40	11,45
2	60	8,27
3	70	7,36
4	90	6,14



Gambar 3.15 Hubungan jarak sengkang terhadap momen

Dari Gambar 3.15 bisa dilihat bahwa jika jarak sengkang (s) semakin jauh (renggang) maka akan terjadi penurunan kapasitas momen yang semakin kecil.

3.3 Batang Tarik Lentur

Pada balok *vierendeel* batang yang mengalami kombinasi tarik-lentur adalah batang tepi bawah.

Persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung tegangan maksimum yang terjadi pada batang yang mengalami lenturan adalah :

$$f_y = \frac{M.c}{I} \quad (59)$$

I atau y disebut juga sebagai modulus potongan (S), sehingga persamaan dapat ditulis dalam bentuk :

$$fb = \frac{M}{S} \quad (60)$$

Persamaan untuk menghitung tegangan pada batang yang mengalami tarik aksial adalah :

$$f = \frac{P}{A} \quad (61)$$

Sehingga persamaan akhir batang yang mengalami kombinasi tarik aksial dan lentur adalah :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} \quad (62)$$

Dimana	f	= Tegangan pada serat yang ditinjau
	M	= Momen lentur
	C	= Jarak serat yang ditinjau
	I	= Momen inersia
	A	= Luas netto
	S	= Modulus potongan

Dengan rumus diatas akan menghasilkan kombinasi tegangan tarik dan lentur yang kecil apabila modulus potongan pada batangnya besar.

3.4 Batang Tekan Pada Balok *Vierendeel*

Pada kasus balok *vierendeel* batang tekan dapat dijumpai sebagai batang tepi atas dan transversal. Gaya tekan pada balok *vierendeel* dapat dilihat dengan rumus pendekatan :

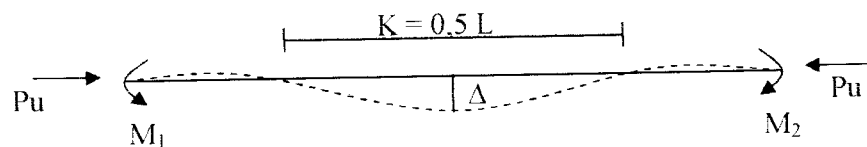
$$C = \frac{M}{H} \quad (63)$$

Dimana : M = Momen kritis
 C = Gaya tekan yang bekerja
 H = Tinggi batang

Seperti yang telah dijelaskan bahwa batang tekan yang panjang akan mengalami kegagalan karena tekuk pada batang, sedangkan batang tekan yang gemuk pendek dapat dibebani sampai materialnya leleh bahkan mungkin hingga mencapai daerah pengerasan regangan (*strain hardening*).

3.5 Kombinasi Tekan - Lentur

Pada struktur yang sederhana, kolom merupakan komponen struktur yang sering menjadi bagian dari struktur rangka. Bila pada kolom bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horizontal (balok), maka tegangan yang diterima kolom, selain tegangan aksial juga terdiri dari tegangan yang disebabkan oleh momen lentur seperti Gambar 3.16 (W.C. Vis dan Gideon Kusuma,1993).

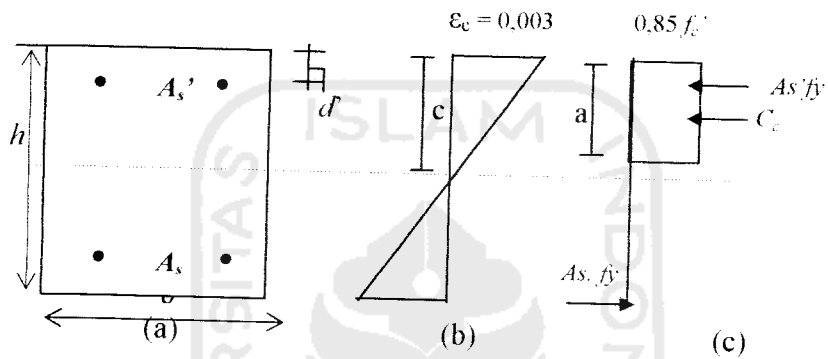


Gambar 3.16 Batang Tekan-Lentur

Dari Gambar 3.16 diketahui bahwa batang yang menerima tekan lentur dipengaruhi oleh faktor kelangsingan yang dinyatakan dalam Persamaan (64)

$$\frac{KL}{r} \tag{64}$$

apabila $\frac{KL}{r} < (34 - 12 \times (\frac{M_1}{M_2}))$ maka dapat digunakan analisis kolom pendek (Edward G. Nawy, 1990).



Gambar 3.17 (a) Tampang melintang balok – kolom
 (b) Regangan balance
 (c) Tegangan balance

Dari Gambar 3.17 dapat diketahui :

$$Cc = 0,85 fc' a . b \tag{65}$$

$$Cs = As' . fy \tag{66}$$

$$Ts = As . fy \tag{67}$$

Keseimbangan yang didapat dari Gambar 3.17 (c) didapat

$$Ts = Cc - Cs$$

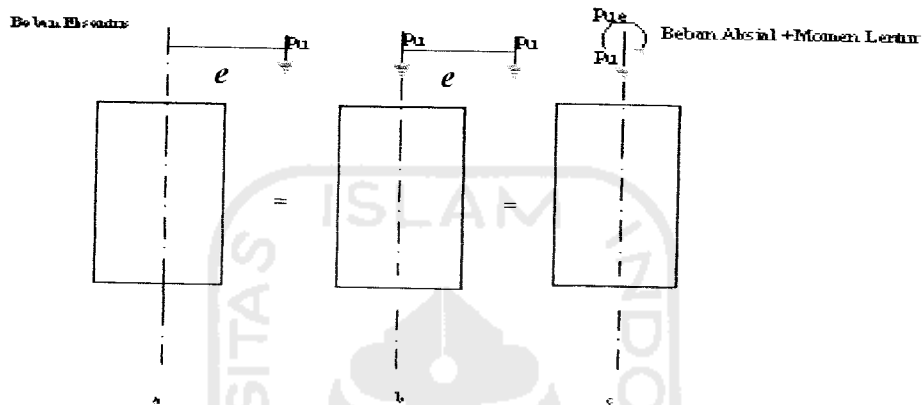
Gaya aksial nominal dalam keadaan runtuh (Pu) dinyatakan dalam Persamaan (68).

$$P_u = C_c + C_s + T_s \quad (68)$$

Kapasitas beban nominal pada kolom tidak boleh lebih besar dari $P_{u_{maks}}$ yang dinyatakan dalam persamaan (69).

$$P_{u_{maks}} = 0,85 [0,85f_c'(A_g - A_{st}) + (A_{st} \cdot F_y)] \quad (69)$$

Hubungan antara aksial – momen, dan eksentrisitas ditunjukkan Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Hubungan beban Aksial – Momen – Eksentrisitas

Dari Gambar 3.18 hubungan Aksial – Momen, dan Eksentrisitas dinyatakan dalam Persamaan (70).

$$M_u = P_u \cdot e \quad (70)$$

Apabila $\frac{KL}{r} > (34 - 12 \times (\frac{M_1}{M_2}))$

maka berlaku analisis kolom langsing (Edward G. Nawy, 1990).

Analisis kolom langsing dapat dilakukan dengan mengacu pada Gambar 3.18 Akibat gaya aksial (P_u) menyebabkan balok melentur, sehingga timbul lendutan Δ . Akibat dari timbulnya lendutan Δ akan menimbulkan momen sekunder (M_c) yang besarnya ditunjukkan oleh Persamaan (71)

$$M_c = P \cdot \Delta \quad (71)$$

Sehingga momen yang terjadi pada balok menjadi

$$M = M_1 + Mc \quad (72)$$

dimana

$$M_1 = Mu.\delta \quad (73)$$

$$M_1 = Mu \left(\frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \right) \quad (74)$$

dengan :

P = gaya aksial
 M_1 = pembesaran momen
 Mc = momen sekunder

3.6 Tinjauan Geser

Perencanaan untuk struktur komopen – komponen terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihanannya atau kekuatan geser diatas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser. SK SNI T-15-1991-03 memberikan kapasitas kemampuan beton untuk menahan geser adalah V_c .

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} (bw.d) \quad (75)$$

Dengan ; V_c = kemampuan beton untuk menahan gaya geser

f_c' = kuat tekan beton

bw = lebar balok

d = tinggi efektif

Sedangkan kuat geser nominal yang dihasilkan baja tulangan untuk menahan geser adalah V_s , sesuai dengan persamaan (76).

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (76)$$

Dengan ; V_s = kemampuan baja tulangan untuk menahan geser

A_v = luas tulangan geser total

f_y = kuat luluh tulangan geser

d = tinggi efektif

s = jarak sengkang

Karena tampang batang tepi atas dan tepi bawah menahan gaya yang berbeda, batang tepi atas merupakan batang yang menerima desak sehingga kekuatan geser tumpangannya merupakan gabungan dari kuat geser beton dan kuat geser tulangan ($V_n = V_c + V_s$). Sedangkan batang tepi bawah merupakan batang tarik padahal beton lemah terhadap gaya tarik sehingga untuk batang tepi bawah yang berfungsi untuk menahan geser hanya tulangan gesernya saja ($V_n = V_s$).

Sehingga kuat geser nominal (V_n) adalah :

Untuk batang tepi atas :

$$V_n = V_c + V_s \quad (77)$$

Untuk batang tepi bawah :

$$V_n = V_s \quad (78)$$

Untuk perlu atau tidaknya penggunaan tulangan geser, SK SNI T-151991-03 memberikan kriteria untuk perencanaan jarak sengkang sebagai berikut :

1. bila $V_u \leq 0,5 \phi V_c$

penulangan geser tidak diperhitungkan.

2. bila $0,5 \phi V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq V_c$

Perlu tulangan geser kecuali untuk struktur sebagai berikut : struktur pelat (lantai, atap, pondasi), balok $h \leq 25$ cm. Jarak penulangan

$$\text{gesernya adalah : } s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \text{ min}}$$

$$\leq \frac{d}{2} \text{ atau } \leq 600 \text{ mm}$$

3. bila $V_c + \frac{V_u}{\phi} \leq (V_c + V_{s \text{ min}})$

$$\text{Jarak penulangan gesernya adalah : } s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \text{ min}}$$

$$\leq \frac{d}{2} \text{ atau } \leq 600 \text{ mm}$$

4. bila $(V_c + V_{s \text{ min}}) \cdot \frac{V_u}{\phi} \leq 3V_c$

$$\text{Jarak penulangan gesernya adalah : } s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c \right)}$$

$$\leq \frac{d}{2} \text{ atau } \leq 600 \text{ mm}$$

5. bila $3V_c + \frac{V_u}{\phi} \leq 5V_c$

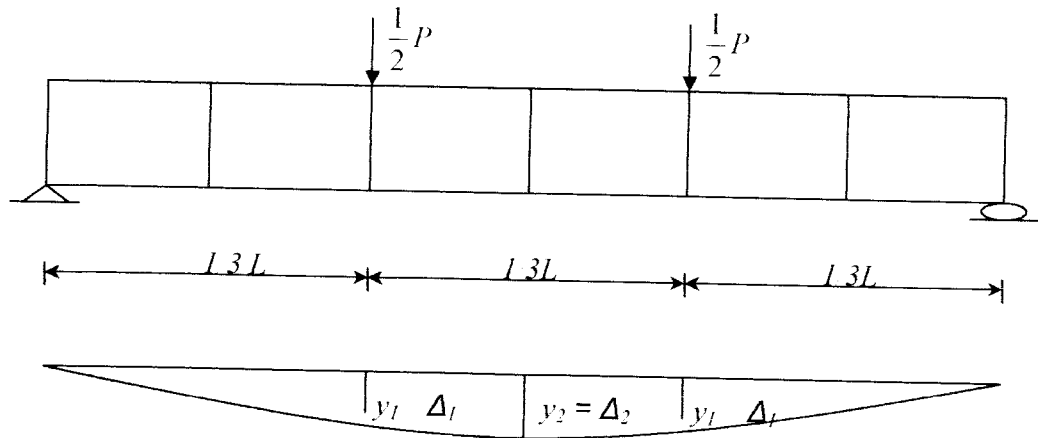
$$\text{Jarak penulangan gesernya adalah : } s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c \right)}$$

$$\leq \frac{d}{2} \text{ atau } \leq 600 \text{ mm}$$

6. bila $\frac{V_u}{\phi} > 5V_c$; maka ukuran balok diperbesar

3.7 Hubungan Beban - Lendutan

Sebuah balok yang menerima beban akan mengalami lendutan. Untuk pembebanan terpusat seperti pada Gambar 3.19 dapat dilihat terjadinya lendutan.



Gambar 3.19 Defleksi pada balok *Vierendeel*

Banyak cara yang digunakan untuk menghitung besarnya lendutan balok, satu diantaranya adalah dengan metode integrasi ganda. Metode integrasi ganda diterapkan pada persamaan momen seperti Persamaan (79) berikut :

$$Ely = \iint Mx dx dx + c_1x + c_2 \quad (79)$$

Berdasar Persamaan (79), maka besarnya lendutan dapat dicari pada titik-titik yang ditunjukkan oleh Gambar 3.19.

$$\text{Untuk lendutan pada } \frac{1}{3} \text{ bentang : } \Delta_1 = y_1 = \frac{5Pl^3}{324EI} \quad (80)$$

$$\text{Untuk lendutan pada } \frac{1}{2} \text{ bentang : } \Delta_2 = y_2 = \frac{23Pl^3}{1296EI} \quad (81)$$

$$\text{Untuk lendutan pada } \frac{1}{3} \text{ bentang : } \Delta_3 = y_3 = \frac{5Pl^3}{324EI} \quad (82)$$

Keterangan :

Δ = defleksi balok

I = momen inersia

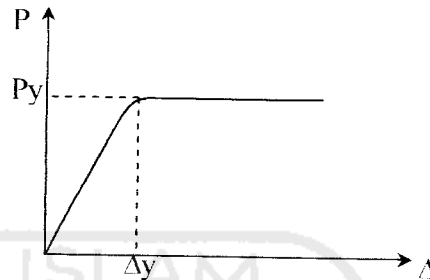
P = beban

3.1

E = modulus elastis

L = panjang bentang

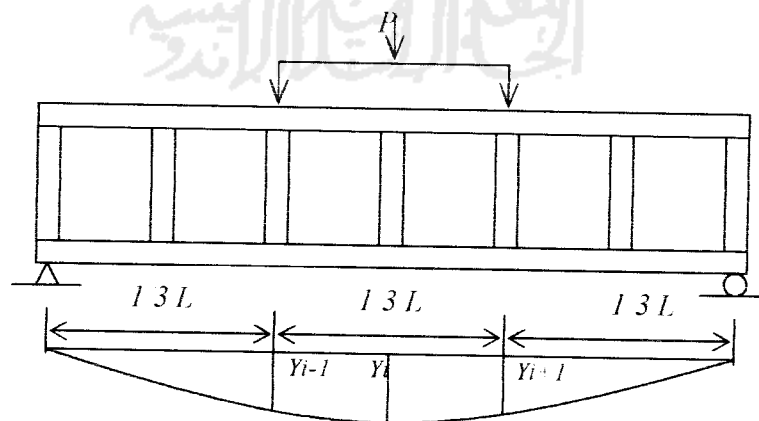
Hubungan beban-lendutan pada balok yang menerima beban lentur dapat disederhanakan seperti Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Hubungan beban-lendutan

3.8 Hubungan Momen - Kelengkungan

Balok adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Momen lentur timbul pada balok sebagai akibat adanya beban pada balok. Apabila balok *viendeel* dengan tumpuan sederhana seperti pada Gambar 3.21 mengalami dua beban transversal terpusat simetris, balok akan melentur atau mengalami defleksi.



Gambar 3.21 Defleksi pada balok *viendeel*

Dari Gambar 3.21, dy/dx dapat didekati dengan persamaan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (83)$$

turunan persamaan (83) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (84)$$

karena $2\Delta x$ adalah konstanta, maka:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (85)$$

selanjutnya didapat :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(y_{i+2} - 2y_i - y_{i-2})}{(\Delta x)^2} \quad (86)$$

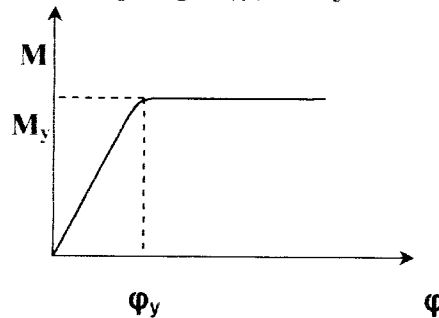
persamaan (86) dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(y_{i+1} - 2y_i - y_{i-1})}{(\Delta x)^2} \quad (87)$$

persamaan differensial untuk balok elastis adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (88)$$

Hubungan momen (m) dan kelengkungan (φ) ditunjukkan oleh gambar 3.22.



Gambar 3.22 Hubungan momen-kelengkungan

3.9 Hipotesa

Berdasarkan analisis sebelumnya, tampak bahwa apabila suatu struktur balok badan terbuka (non solid) dalam hal ini balok *vierendeel* diberi beban sentris (P) maka akan terjadi lendutan. Besarnya lendutan dipengaruhi oleh beban (P), panjang bentang (L), modulus elastisitas (E), dan momen inersia penampang.

Pembebanan rangka *vierendeel* juga akan mempengaruhi besarnya jarak sengkang yang diperlukan. Dari hasil perhitungan hubungan pembebanan (P) dengan pengaruh besarnya variasi jarak sengkang terhadap momen (M), maka didapat kesimpulan bahwa semakin renggang (jauh) jarak sengkang yang dipakai maka akan terjadi degradasi momen pada balok *vierendeel* beton.

