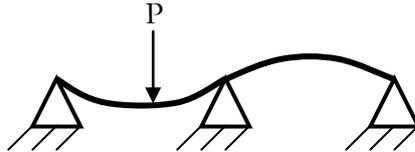


## BAB I Struktur Menerus : Balok

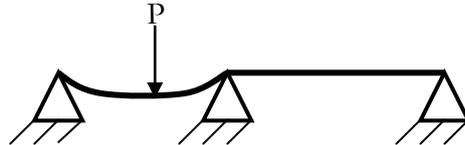
### A. Pengertian

Balok merupakan struktur elemen yang dimana memiliki dimensi  $b$  dan  $h$  yang berbeda, dimensi  $b$  lebih kecil dari dimensi  $h$ . Bagian ini akan membahas mengenai balok yang menerus di atas banyak tumpuan dan balok statis tak tentu seperti :

- Balok menerus, beban di satu bentang dapat menyebabkan timbulnya momen dan kelengkungan pada bentang tersebut dan pada bentang lainnya.



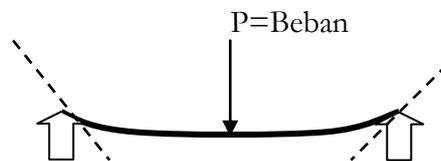
- Balok sederhana, beban pada satu bentang menyebabkan terjadinya momen lentur dan kelengkungan hanya pada bentang tersebut.



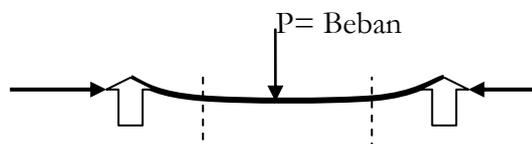
### B. Prinsip Utama

Meskipun analisisnya lebih sulit, balok statis tak tentu sering juga digunakan karena struktur ini pada umumnya lebih kaku untuk suatu kondisi bentang dan beban daripada struktur statis tentu, momen internal yang timbul pada struktur tak tentu akibat dibebani lebih kecil daripada yang timbul pada struktur statis tentu. Dengan demikian ukurannya dapat lebih kecil, kerugian struktur statis tak tentu ialah lebih pekannya terhadap penurunan tumpuan. Sebagai contoh turunya tumpuan dapat menimbulkan momen lentur internal.

- Kekakuan. Peningkatan kekakuan pada statis tak tentu dapat dipelajari dengan defleksi, yaitu menghitung defleksi ditengah bentang untuk balok di atas tumpuan sederhana yang mamikul beban terpusat di tengah sebesar  $\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$ .



Bila ujung-ujung balok tersebut tumpuan jepit maka lendutannya  $\Delta = \frac{PL^3}{192EI}$ .



Observasi yang dapat dilakukan untuk meninjau adanya peningkatan kekakuan pada balok menerus di atas tumpuan sederhana di bandingkan dengan yang tidak menerus. Struktur menerus umumnya lebih kaku dari pada yang ditumpu sederhana tak menerus.

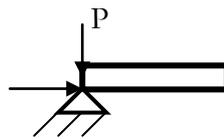
- Distribusi gaya. Balok menerus dan balok jepit lebih digunakan dari pada balok sederhana karena gaya geser dan momen lentur yang timbul pada statis tertentu sebagai contoh pada balok jepit terlihat ada dua titik pada balok (dimana terjadi perubahan tanda kelengkungan) yang juga merupakan titik dimana momen lentur nol.

Cara meninjau struktur statis tak tentu sama dengan memandang kolom tetapi bahwa lokasi titik-titik balok yang ditentukan oleh beban.

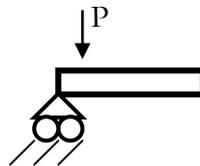
### C. Beban dan Landasan.

Lantai tingkat suatu bangunan dipikul oleh balok dan meneruskan beban kepada tiang/tembok dinding sebagai penahan agar balok tetap pada tempatnya dengan mengadakan gaya keatas berbalik arah beban balok bawah, beban di atas lantai dan berat sendiri dengan balok mengadakan aksi pada tiang/tembok yang menahan reaksi landasan. Beban mempunyai kebebasan bergerak tetapi reaksi landasan tergantung dari macam pembebanan dan dapat dibuat berubah-ubah mengikuti beban. Beberapa landasan pada balok :

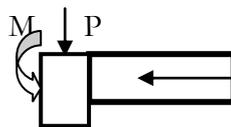
1. landasan engsel, landasan ini dapat mengadakan dua reaksi yaitu gaya vertikal dan horisontal.



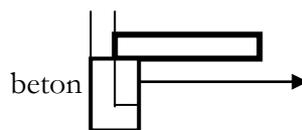
2. landasan roda, landasan ini hanya dapat menerima gaya vertikal.



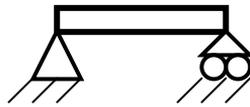
3. landasan apitan, landasan ini dapat menahan gaya vertikal, horinzotal dan momen.



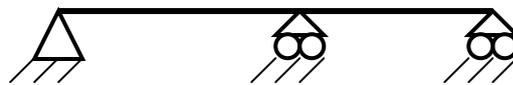
4. landasan letak bebas, merupakan landasan sederhana untuk konstruksi bentang kecil.



5. landasan statis tentu, merupakan landasan dengan satu engsel dan satu roda.



6. landasan statis tak tentu, merupakan landasan dengan satu engsel dan dua roda, satu apit dan dua roda, dua engsel dan dua apitan.



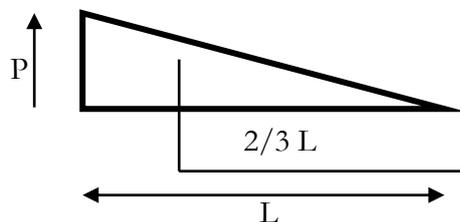
#### D. Lendutan Balok dan Contoh

Balok sebagai elemen struktur yang memikul beban kemungkinan untuk gerak dan berubah akibat berat beban yang kerja padanya dan suhu yang membuat balok memuai bila kepanasan dan menyusut bila kedinginan. Gerak/perubahan elemen struktur digolongkan kedalam :

1. Balok dapat memanjang akibat gaya tarik dan dapat memendek akibat gaya tekan
2. Balok dapat melengkung sebab memanjang membentuk lengkung
3. Balok dapat memutar.

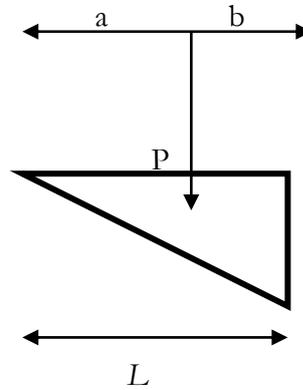
Lendutan akibat momen lengkung agak sulit ditentukan karena momennya tidak konstan disepanjang balok. Sistem luas bidang momen lengkung dibagi oleh  $E \cdot I$  dipandang sebagai muatan baru yang bekerja atas balok disebut momen reduksi. Bila momen energi konstruksi sepanjang balok perhitungannya lebih mudah. Ada dua teorema yang dapat dipergunakan :

1. Perubahan kemiringan garis elastika pada ujung titik/landasan dari balok sama dengan luas bidang momen seluruh balok dibagi oleh modu elastika dikali momen energi balok, jadi sudut elastika.

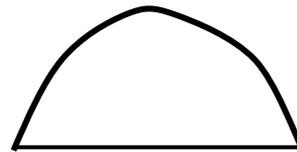


*Lendutan balok terapit 1 sisi*

Lendutan pada ujung titik dari balok sama dengan momen statatis dari bidang terhadap titik itu dibagi model elastika dikali momen energia balok menjadi lendutan.



*Lendutan balok atas 2 landasan statis tentu  
beban terpusat  $P$*



*Beban terbagi rata*

## BAB II Struktur menerus : Portal

### A. Pengertian

Portal atau gawang disebut juga rangka kaku merupakan struktur yang terdiri dari elemen-elemen linear, umumnya balok dan kolom yang saling dihubungkan pada ujung-ujungnya oleh *joint* (titik hubung) yang dapat menegah rotasi relatif diantara elemen struktur yang dihubungkan. Seperti pada balok, Portal atau rangka kaku adalah statis tertentu. Banyak struktur portal yang tampaknya sama dengan sistem *post and beam*, tetapi pada kenyataannya berbeda karena adanya kekakuan titik hubung pada rangka kaku. Banyak jenis struktur portal atau rangka kaku yang telah digunakan seperti contoh, meja adalah struktur rangka yang memperoleh kestabilan dari hubungan kaku antara kaki dengan papan horinzotalnya.

### B. Prinsip Utama

Konstruksi Gawang atau Portal

Berbeda dengan konstruksi bangunan petak yang titik-titik simpulnya dianggap sebagai perletakan engsel, sehingga batangnya-batangnya hanya dapat menerima gaya tekan dan tarik murni, dalam konstruksi gawang atau portal titik-titik hubungan sedemikia kokoh, sehingga dapat menerima gaya tekan, tarik, geser dan momen. Batang-batang terdiri atas balok dan kolom yang diperhitungkan agar dapat menerima gaya tekan, tarik dan momen.

Pembagian perbandingan gaya yang dipikul masing-masing berbanding menurut harga kejur yaitu  $-EI$  dari masing-masing batang. Disamping itu ada faktor lain yang mempengaruhi perbandingan distribusi yaitu ujung-ujung masing batang dipegang oleh landasan yang tidak sama dan panjang masing-masing batang. Landasan yang tidak sama terdiri dari *landasan apitan dan landasan engsel*. Perbandingan distribusi momen di satu titik simpul dengan batang tergantung pada nilai kejur yang dinyatakan dengan  $E I : L$ . Untuk batang yang ujungnya dipegang oleh engsel nilai kejurnya :

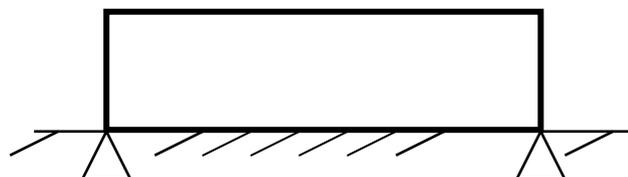
$$3 E I / L$$

Untuk batang yang ujungnya dipegang oleh apitan nilai kejurnya :

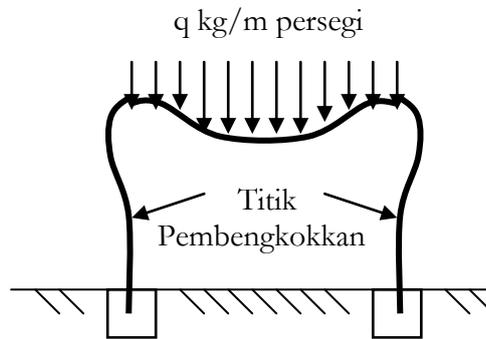
$$4 E I / L$$

Akibat gaya luar, timbul momen di suatu titik simpul. Momen itu dinetralisir oleh batang yang bertemu dititik simpul sehingga menjadi nol maka terjadilah keseimbangan. Menurut *Prof. Hardy Cross* bila suatu portal sederhana dengan dua tiang memikul beban terbagi rata  $q$  kg/m sepanjang balok. Maka balok akan melemdut dan sudut ujung balok akan memutar. Tiang-tiangnya akan bergerak keluar dari landasan. Tetapi landasan menahan Bergeraknya kaki tiang. Gaya datar arah ke dalam portal yang dihasilkan pondasi landasan mengakibatkan momen lengkung pada tiang. Selanjutnya reaksi ujung balok oleh tiang ujung atas diputar kembali oleh rotasi dari balok. Maka hal ini menghasilkan momen lengkung pada balok. Akibatnya ketiga elemen portal menderita tekan dan momen lengkung karena beban  $q$  di atas balok. Dan momen lengkung tadi mengadakan tarik dan geser pada partikel-partikel bahan portal.

*Portal sederhana di atas dua engsel*



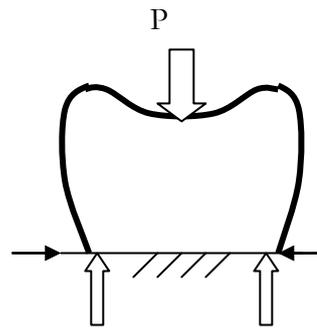

  
*Portal sederhana di atas dua apitan*



C. Beban dan Landasan

- *beban vertikal*, bila mengalami beban ini dipikul oleh balok diteruskan ke kolom dan akhirnya diterima oleh tanah. Beban menyebabkan balok mengalami kecenderungan berotasi, tetapi karena ujung atas balok dan kolom kaku maka rotasi bebas pada ujung balok dapat tidak terjadi artinya kolom cenderung mencegah rotasi bebas pada balok. Hal ini menyebabkan balok tersebut lebih mendekati balok berujung jepit dan karena ujung kolom cenderung memberi tahanan rotasi, maka kolom menerima juga momen lentur selain menerima gaya aksial.

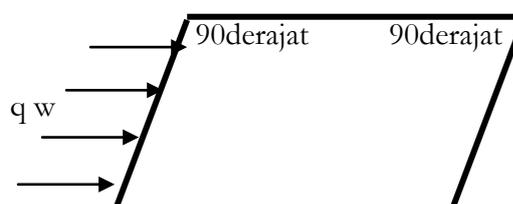
*Beban vertikal dapat menyebabkan ujung bawah kolom bergerak kearah luar struktur.*



- *beban horisontal*

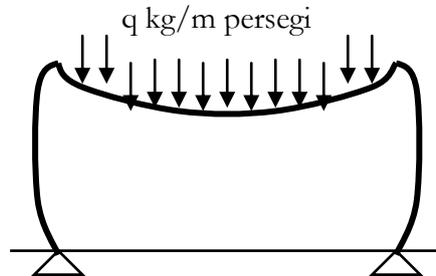
Struktur portal ada kemampuan memikul beban lateral apabila adanya titik hubung kaku, balok dapat menahan kolom dari rotasi bebas yang diakibatkan oleh beban horizontal. Aksi beban lateral menimbulkan gaya geser, lentur dan gaya aksial pada semua elemen (balok maupun kolom). Apabila beban lateral ini sudah sangat besar maka umumnya diperlukan kontribusi elemen struktur lainnya untuk memikul beban, misalnya dengan menggunakan *bracing* (pengekang) atau dinding geser bahkan pada gedung bertingkat rendah sekalipun, *bracing* sering digunakan untuk memikul beban lateral karena struktur portal saja tidak cukup.

*Portal dengan pembebanan angin*



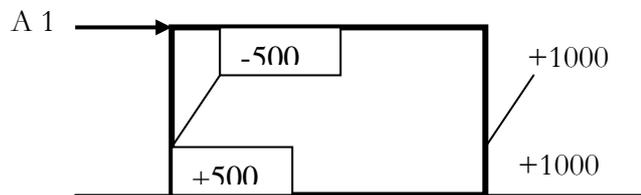


Deformasi kedua tiang yang elastis mengadakan titik pembengkokkan tempat yang tidak ada tegangan tarik dan tekan. Di titik itu seolah-olah ada engsel maka portal seolah-olah didukung oleh dua tiang pendek, terhitung dari titik tadi, sehingga lebih kokoh. Portal dengan landasan apitan yang mendapat pembenanan angin.



*Deformasi portal di atas dua engsel*

Karena tekanan angin dari satu sisi ada kemungkinan portal hendak mengguling, tiang portal menderita tarik pada sisi datangnya angin dan tekan pada sisi belakang. Akibat tekanan angin dari satu sisi portal bergerak ke sisi lain. Begitu pula pada pembebanan portal tidak simetris atau ada gaya yang miring. Contoh perhitungan portal dengan pembebanan yang tidak simetris yang mengakibatkan goyangan terlihat pada gambar berikut :



*Portal dengan beban angin, tidak simetris, terjadi goyangan*

Tiang portal dengan landasan terapit mempunyai nilai kejur yang besar berarti lebih kaku dan kokoh daripada tiang dengan landasan engsel atau roda. Landasan roda dan engsel tidak dapat menerima momen, di situ momen sama dengan nol. Kekokohan dan kekakuan portal juga tergantung dari bahan yang dipergunakan misalkan dengan bahan beton tulang monolit lebih kaku dan kokoh daripada baja atau kayu.

#### D. Lendutan dan Contoh

Sehubungan dengan gaya tekan dan lendutan pada tiga tiang atau lebih, portal lebih kokoh. Begitu pula balok diatas tiga landasan atau lebih mempunyai kekakuan lebih besar daripada balok di atas dua landasan.

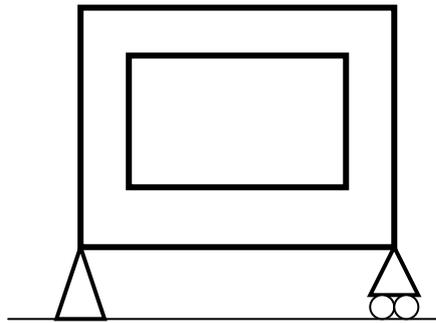
Goyangan ke sisi bagian atas ketiga tiang dipikul oleh semua tiang. Begitu pula dengan balok yang bekerja bersama-sama akan lebih kuat daripada satu balok. Oleh pembebanan yang tidak simetris pada salahsatu bentangan portal berganda itu

mengalami lengkungan tidak hanya pada balok penerus dengan tiga perletakan tetapi juga menjalar ketiga tiang.

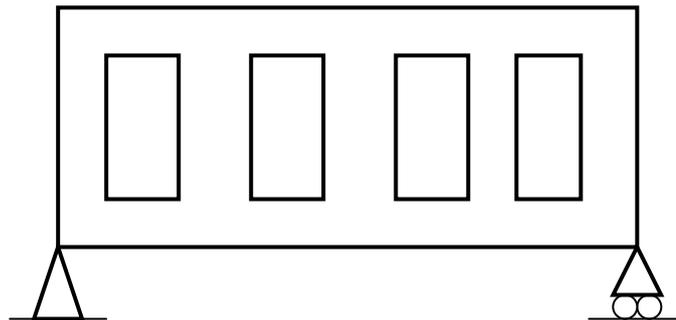
Hal tersebut terjadi pada balok penerus tiga landasan tembok tanpa tiang.

Beban angin dari sisi dipikul bersama oleh ketiga tiang. Walaupun pembagiannya tidak sama, namu menguntungkan daipada portal dengan dua tiang; mengingat ketiga tiang sebagai konsol terapit di landasan dan dibantu oleh kekakuan balok penerus.

Kondisi portal yang semula terbuka, bilamana kedua kaki tiang pada landasan dihubungkan dengan balok menjadi portal tertutup.

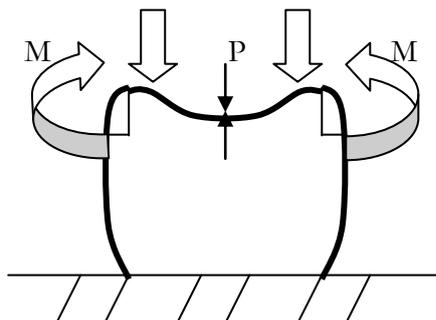


*Portal tertutup*



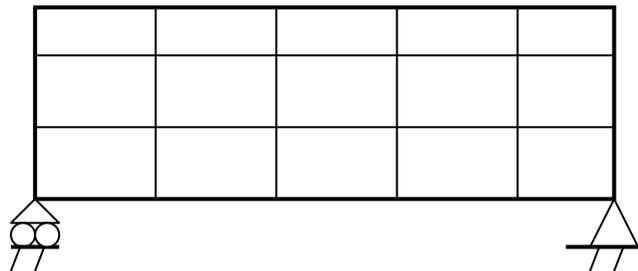
*Gelagar Vierendeel*

*Meskipun dibebani, sudut antara garis singgung ujung balok dengan garis singgung ujung kolom tetap konstan (90 derajat).*



*Struktur balok dan kolom terhubung kaku.*

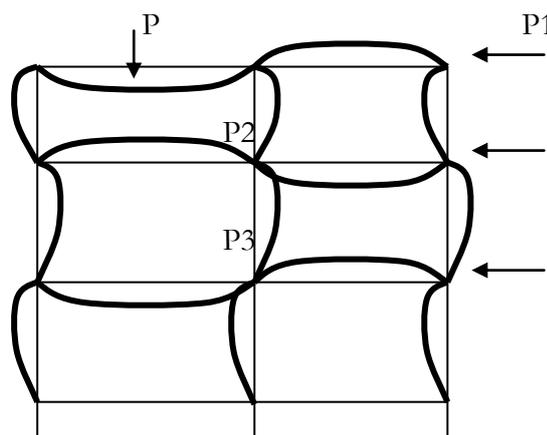
Balok tepi atas menerima gaya tekan dan balok tepi bawah menerima gaya tarik. Seluruh sistem dapat memikul momen lengkung besar, tegangan momen sekunder pada balok tidak begitu besar dan dapat dipikul oleh sudut-sudut yang kaku. Konstruksi ini disebut gelagar Vierendeel diambil dari nama penemunya seorang bangsa Belgia Rangka bangunan dengan portal berganda dan bertingkat banyak dianggap sebagai Vierendeel berganda. Balok-balok pada tiap lantai berfungsi sebagai pemikul beban lantai merangkap sebagai balok tarik rangka. Seperti contoh :



*Struktur bangunan petak Vierendeel*

Rangka portal bertingkat banyak yang dibebani angin dari sisi mirip gelagar vierendeel yang diapit oleh pondasi. Pada sisi arah angin tiang mendapat tegangan tarik dan lengkung, sedangkan sisi belakang angin mendapat tegangan tekan dan lengkung. Balok pada tiap lantai mengalihkan gaya geser dari elemen –elemen yang tertarik kepada elemen-elemen yang tertekan.

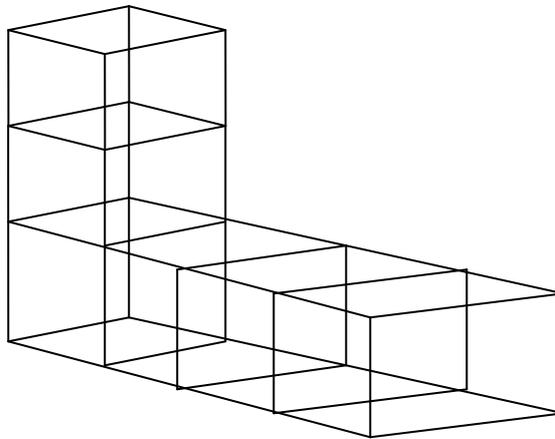
Struktur ini dapat pula dianggap sebagai gelagar I yang besar, sebagai konsol yang diapit oleh pondasi. Balok-balok lantai berfungsi sebagai badan I yang tidak penuh dan tiang-tiang sebagai flens balok I.



*Rangka portal tingkat tiga dengan beban terpusat*

Apabila tinggi dan lebar bangunan bertambah, maka pada rangka portal elemen-elemen yang tegak dan mendatar bertambah banyak, seolah-olah merupakan jaringan elemen-elemen berjumlah banyak dan kerap dan berdiri yang satu dengan yang lainnya. Gaya-

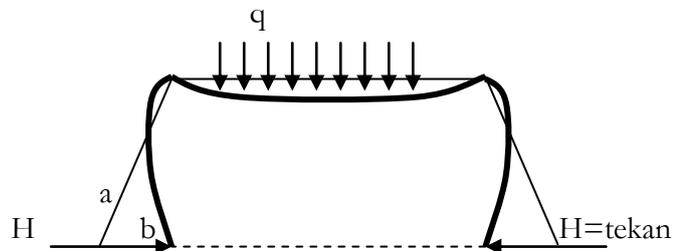
gaya yang mendatar dan tegak di “isap” –nya dengan ringan oleh jaringan itu. Sejumlah rangka portal yang sejajar dan dihubungkan oleh elemen-elemen mendatar, merupakan rangka portal dalam ruang tiga dimensi.



*Rangka portal tiga dimensi*

Bahan yang digunakan untuk rangka portal tersebut adalah baja atau beton tulang.

Untuk perhitungan portal yang lebih dari empat tingkat, perhitungan dengan sistem Cross agak lama. Sistem yang dikembangkan agar lebih singkat perhitungannya ditemukan masing-masing oleh Prof. Takabea dan oleh Cani. Pada masa sepuluh tahun belakangan ini rumus-rumus lebih singkat lagi, sehingga oleh *programmer* dapat dihitung dengan komputer yang lebih cepat lagi.



*Lendutan portal di atas dua engsel*

Efek variasi kekakuan relatif balok dan kolom terhadap momen dan gaya internal pada portal atau struktur rangka kaku. Adanya perbedaan kekakuan relatif antara balok dan kolom juga mempengaruhi momen akibat beban vertikal. Lokasi titik belok dipengaruhi oleh kekakuan relatif balok dan kolom, semakin besar tahanan terhadap putaran ujung balok. Akibatnya momen yang timbul akan lebih besar daripada kolom relatif kurang kaku. Untuk struktur yang kolomnya relatif lebih kaku dibandingkan dengan balok momen negatif pada ujung balok yang bertemu dengan kolom kaku akan besar sementara positifnya berkurang.

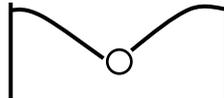
---

Struktur statis tertentu

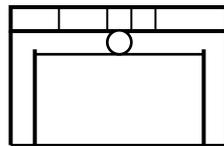
Diagram momen balok



Defleksi balok



Struktur

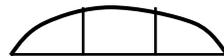


(a)

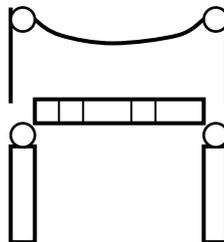
---

Struktur statis tertentu

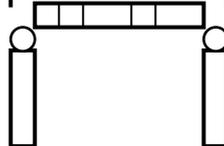
Diagram momen balok



Defleksi balok



Struktur

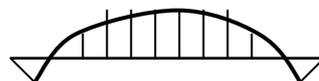


(b)

---

Struktur statis tertentu

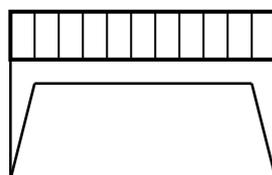
Diagram momen balok



Defleksi



Struktur



(c)

Keterangan :

- a) struktur pelengkung tiga sendi momen negatif besar terjadi pada balok
- b) struktur post and beam momen positif besar terjadi pada balok, kolom tidak menahan rotasi pada ujung balok
- c) rangka dengan kolom sangat fleksibel dan balok sangat kaku, kolom fleksibel sedikit memberikan tahanan terhadap rotasi balok. Jadi perilaku ujung balok seperti sendi