VII. BALOK GERBER

Kompetensi Dasar dan Indikator

Kompetensi Dasar	:	Menghitung gaya-gaya dalam pada konstruksi balok gerber
Indikator	:	- Mendefinisikan balok gerber - Menghitung besarnya semua jenis reaksi di tiap tumpuan pada struktur balok gerber - Menghitung besarnya gaya-gaya dalam dan menggambarkan diagram gaya dalam di seluruh bagian struktur balok gerber.

Deskripsi Singkat

Bab ini berisi tentang perhitungan gaya-gaya dalam dan penggambaran diagram gaya-gaya dalam pada balok gerber, yaitu konstruksi balok statis tertentu yang terdiri lebih dari satu bentang.

Materi

A. Pendahuluan

Konstruksi Balok yang ditumpu lebih dari dua tumpuan merupakan konstruksi statis tak tertentu. Besarnya reaksi tidak cukup dihitung dengan persamaan keseimbangan, tetapi memerlukan persamaan lain untuk menghitung reaksi tersebut. Dengan kata lain, perhitungan menjadi lebih kompleks. Untuk menghindari kompleksnya perhitungan, seorang ahli konstruksi berkebangsaan Jerman yang bernama Heinrich Gerber (1832-1912), pada tahun 1886 membuat konstruksi balok yang ditumpu oleh lebih dari dua tumpuan yang statis tertentu. Usaha Gerber tersebut adalah dengan cara menempatkan engsel (sendi) tambahan di antara tumpuan sedemikian sehingga konstruksi stabil dan bersifat statis tertentu (Darma E, 2009).

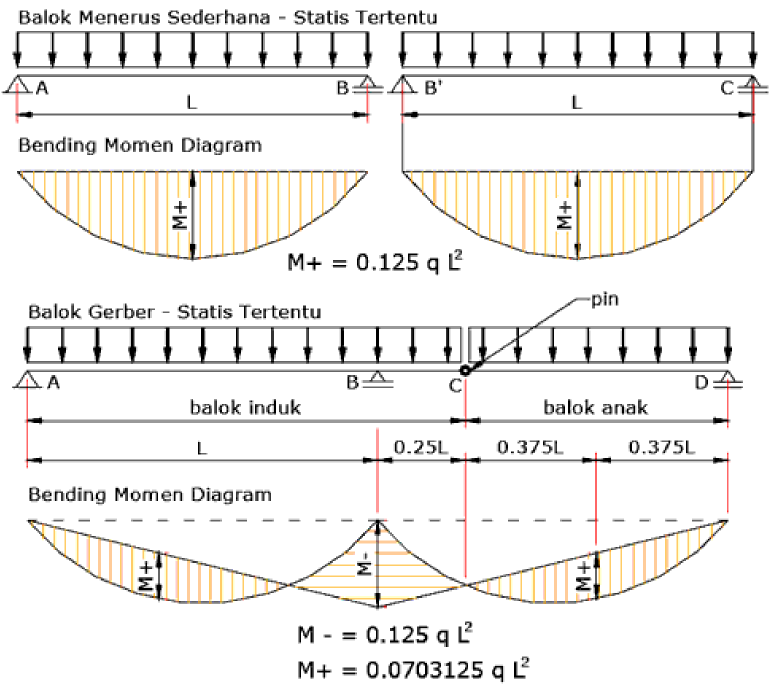
Konstruksi balok gerber seperti ini diperlukan pada kondisi apabila jarak antar dua tumpuan atau bentang balok terlalu besar. Contoh aplikasinya adalah struktur gording pada konstruksi atap. Di atas tumpuan-tumpuan balok gerber tersebut akan terjadi momen negatif yang akan mengurangi besarnya momen positif lapangan, sehingga momen yang timbul pada balok gerber akan lebih kecil dibanding pada balok sederhana di atas dua perletakan.

Gambar 127. Aplikasi balok gerber pada rangka atap

B. Ketentuan penempatan sendi

Agar balok gerber (konstruksi balok dengan bentang lebih dari satu) dapat diperhitungkan sebagai konstruksi statis tertentu, maka pada lokasi-lokasi tertentu perlu dipasang engsel. Sendi atau engsel yang merupakan sambungan itu ditempatkan sedemikian rupa bergilir atau berselang-seling sehingga keadaan dari balok gerber itu stabil dan bersifat statis tertentu. Engsel-engsel tersebut dapat menerima gaya normal dan gaya geser, tetapi tidak dapat menahan momen, dengan kata lain momen pada sambungan (engsel) adalah nol. Momen yang terjadi pada satu bentang tidak menerus ke bentang di sampingnya, dan yang diteruskan hanyalah gaya geser.

Dalam perencanaan balok gerber perlu diatur jarak sendi tambahan dan bentang hingga Mmaks = Mmin, agar diperoleh distribusi momen tumpuan (negatif) dan momen lapangan (positif) yang optimal. Dimensi balok yang dibutuhkan tergantung pada besarnya momen. Bila momen positif sama besarnya dengan momen negatif, maka besarnya momen ekstrem menjadi lebih kecil bila dibanding dengan momen negatifnya. Untuk membuat besarnya momen positif sama dengan momen negatif, dilakukan dengan mengatur jarak sendi tambahan dan bentang balok. Sendi harus diletakkan pada posisi titik belok, sehingga diperoleh momen negatif sama dengan momen positif. Kondisi tersebut diilustrasikan pada gambar 128.



Sumber: *wiryanto.wordpress.com*

Gambar 128. Bending Momen Diagram dari Balok Menerus Sederhana dan Balok Gerber

Pada ilustrasi di atas terlihat bahwa momen tumpuan pada balok gerber timbul karena bagian balok BC berperilaku sebagai kantilever. Jika sendi atau engsel tidak tepat pada titik belok, misalnya digeser ke arah B, maka momen tumpuan B berkurang dan momen lapangan balok CD bertambah, demikian pula sebaliknya. Dengan menempatkan posisi sendi (engsel), maka dapat dihasilkan distribusi momen tumpuan dan lapangan yang paling optimum.

Keuntungan yang didapat dari konstruksi balok Gerber adalah reaksi perletakan dapat dihitung dengan menggunakan tiga syarat kesetimbangan seperti pada konstruksi statis tertentu, yaitu:

$\sum M = 0$; $\sum H = 0$; $\sum V = 0$. Jadi, penyelesaian balok gerber lebih sederhana dibanding balok menerus statis tak tentu. Kelemahan yang timbul adalah salah satu bagian ada yang menjadi struktur utama (pusat kekuatan) dan yang lainnya adalah sekunder (pelengkap). Pada ilustrasi balok gerber ABCD di atas, balok ABC adalah balok utama/induk dan balok CD adalah balok sekunder/anak. Jika balok induk runtuh, balok anak pasti ikut runtuh pula, sedangkan jika balok anak saja yang runtuh, balok induk tidak terpengaruh.

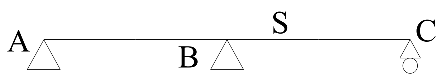
Banyaknya sendi atau engsel yang dipasang pada balok gerber tergantung pada banyaknya tumpuan. Sebagai dasar penentuan banyaknya sendi yang dibutuhkan adalah:

$S = n - 2$

S = jumlah sendi / engsel

n = jumlah tumpuan

Contoh kasus pada gambar 129 berikut.



Gambar 129. Balok Gerber Dua Bentang

Diketahui:

Jumlah tumpuan (n) = 3

Sehingga jumlah sendi/engsel yang perlu dipasang adalah:

$S = n - 2$

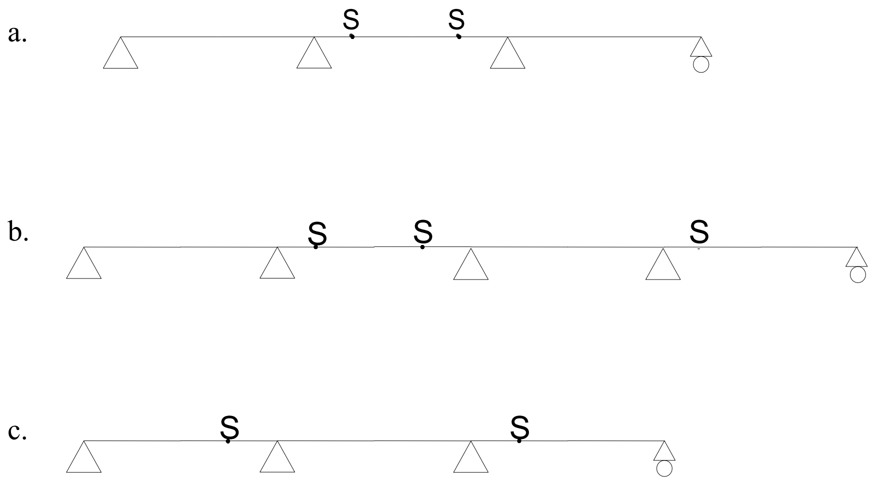
$S = 3 - 2$

$S = 1$

Ketentuan mengenai posisi pemasangan engsel pada balok gerber adalah:

- Pada satu bagian bentang balok (daerah di antara dua tumpuan) maksimal dipasang dua engsel (gambar 130a)
- Jika terdapat bentang berengsel dua, maka pada bagian bentang balok di sebelah kanan dan sebelah kiri bentang berengsel dua tersebut tidak boleh dipasang engsel (gambar 130b)
- Pada bagian bentang balok di ujung maksimal hanya terdapat satu engsel (gambar 130c)

- Pada bagian bentang balok di ujung, engsel tidak boleh diletakkan di dekat tumpuan tepi, karena tumpuan tepi yang merupakan sendi atau rol tidak dapat menahan momen. Bila di dekatnya dipasang engsel, maka pada bagian tepi akan timbul momen (gambar 130c).



Gambar 130. Variasi Penempatan Sendi pada balok gerber

Pada contoh kasus sesuai gambar 129, balok yang menumpang (balok anak) adalah balok S - C. Balok anak adalah balok yang menumpang di atas balok induk. Balok induk adalah balok di mana beban balok anak dibebankan pada balok induk.

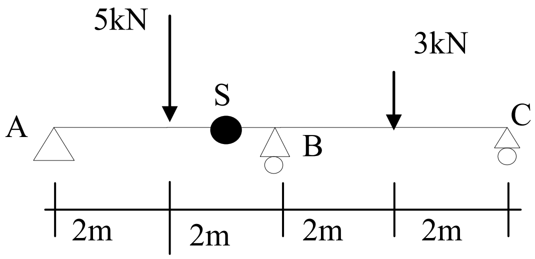
C. Balok Gerber dengan beberapa beban terpusat

Pada prinsipnya, perhitungan reaksi tumpuan dan gaya-gaya dalam serta cara melukis diagram gaya-gaya dalam dari balok gerber dengan beberapa beban titik akan sama dengan perhitungan pada kasus balok sederhana dengan beberapa beban titik. Bagian yang perlu diperhatikan adalah penemapatan titik sendi sedemikian hingga diperoleh distribusi momen tumpuan (negatif) dan momen lapangan (positif) yang optimal. Prinsip kerja perencanaan dan perhitungan gaya batang pada balok gerber adalah sebagai berikut.

1. Tentukan jumlah sendi yang akan di pasang.
2. Letakkan sendi tersebut sehingga konstruksi menjadi statis tertentu, yaitu dengan melihat konstruksi pada balok induk apakah keadaannya statis tertentu.

3. Setelah balok induk dan balok anak ditentukan, selanjutnya dapat dikerjakan perhitungannya.
4. Dalam perhitungan hal pertama yang di lakukan adalah mencari reaksi perletakan. Pada balok gerber perhitungan reaksi dimulai dari balok anak terlebih dahulu, sehingga yang pertama dicari adalah reaksi perletakan pada balok anak. Jika dilihat pada contoh kasus gambar 129, maka pada balok anak reaksi perletakan yang akan di dapat adalah RC dan RS.
5. Setelah reaksi pada balok anak didapat, selanjutnya dapat mencari reaksi perletakan pada balok induk dengan reaksi pada sendi (RS) dijadikan beban terpusat pada balok induk.
6. Untuk mencari bidang momen dan bidang lintang, konstruksi dikembalikan seperti semula tanpa memisahkan antara balok induk dengan balok anak.

Contoh kasus adalah sebagai berikut.



Gambar 131. Contoh kasus Balok Gerber dengan Beban Terpusat

Penyelesaian dari contoh kasus di atas adalah sebagai berikut.

A. Penyelesaian secara grafis

a) Menentukan posisi titik engsel (sendi):

(1) Gambarkan diagram momen Mo pada masing-masing bentang seperti pada balok tunggal (Gambar 132b).

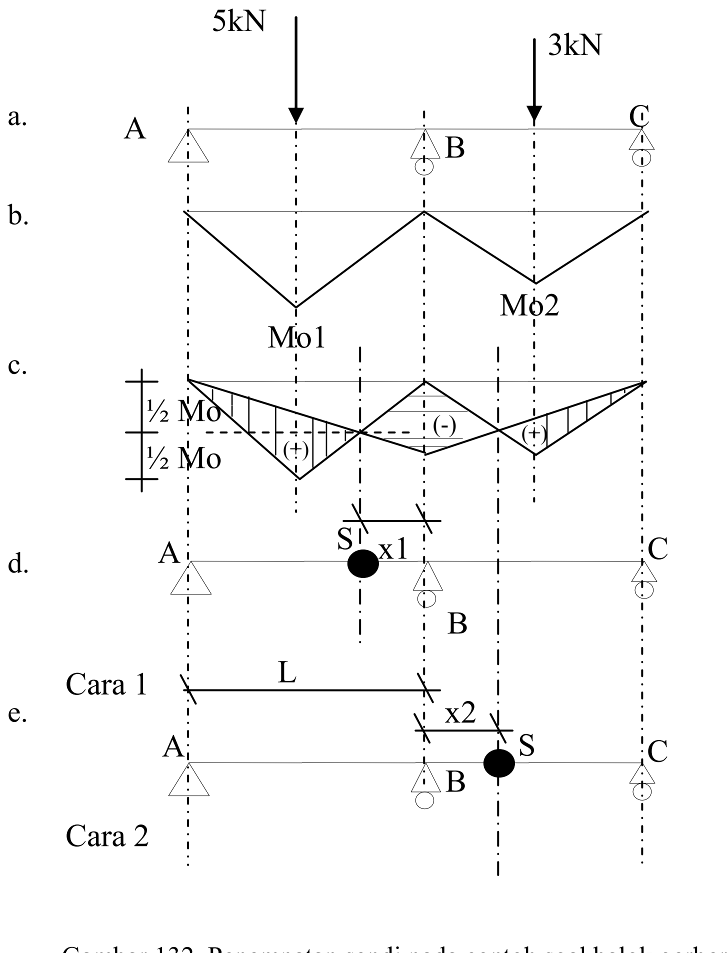
$$Mo = \frac{P.L}{4}$$

$$Mo1 = \frac{P1.L1}{4} = \frac{5.4}{4} = 5kNm$$

$$Mo2 = \frac{P2.L2}{4} = \frac{3.4}{4} = 3kNm$$

(2) Agar diperoleh momen negatif sama dengan momen positif, di daerah bentang dengan Mo yang terbesar dibagi dua, kemudian ditarik garis penutup dengan menghubungkan titik M=0 (Mneg=Mpos) ke perpotongan garis gaya tumpuan tengah dan dengan kedua titik tumpuan (Gambar 132c).

(3) Sendi (engsel) diletakkan pada posisi M=0 (Mneg=Mpos) (Gambar 132d dan 132e).



Gambar 132. Penempatan sendi pada contoh soal balok gerber

Posisi Sendi (Cara 1 = x1)

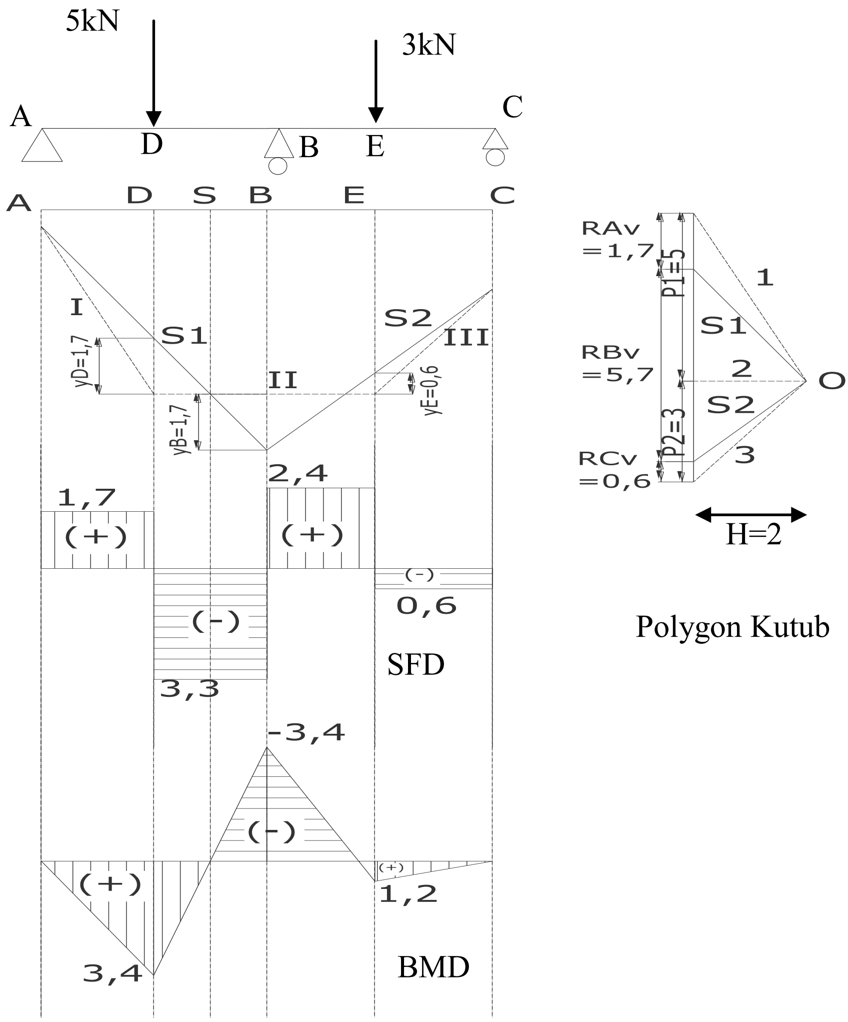
$$\frac{1/2\ L}{Mo} = \frac{x1}{1/2\ Mo}$$

$$x1 = \frac{L}{4} = \frac{4}{4} = 1\ m$$

b) Perhitungan gaya-gaya dalam dengan cara grafis

Langkah–langkah lukisan (gambar 133):

(1) Buat gambar situasi dengan skala tertentu, misal skala jarak 1 cm = 1 m dan skala gaya 1 cm = 1 kN.
(2) Perpanjang garis kerja RA_V, RB_V, RC_V, P1, P2, dan RS.
(3) Lukis gaya P1, dan P2 dengan skala di atas, dan tentukan titik kutub O dengan jarak tertentu H, misal H = 2 cm.
(4) Lukis garis 1, 2, dan 3 pada lukisan kutub.
(5) Lukis garis I, II, dan III pada perpanjangan garis kerja di atas, masing-masing sejajar dengan garis 1, 2, dan 3.
(6) Hubungkan titik potong garis I - RA_V dengan titik potong garis II – RS sampai memotong garis kerja RBv garis ini adalah garis SI.
(7) Hubungkan titik potong garis SI – RBv dengan titik potong garis III – RC_V , garis ini adalah garis SII.
(8) Tarik garis S1 dan S2 yang melalui kutub O, yang masing-masing sejajar dengan garis SI dan SII.



Gambar 133. Perhitungan gaya-gaya dalam Balok Gerber secara grafis

Besarnya RAv, RBv, dan RCv dapat diukur pada lukisan.

Dalam soal ini diperoleh :

RA_V =1,7 . 1 = 1,7 kN,

RB_V =5,7 . 1 = 5,7 kN dan

RC_V =0,6 . 1 = 0,6 kN.

Sedang besarnya momen adalah : H xY x skala jarak x skala gaya.

Dalam soal ini diperoleh :

MD = H . yd . 1 . 1

MD = 2 . 1,7 . 1 . 1 = 3,4 kNm

MB = H . yb . 1 . 1

MB = 2. (-1,7) . 1 . 1 = - 3,4 kNm

ME = H . ye . 1 . 1

ME = 2. 0,6 . 1 . 1 = 1,2 kNm

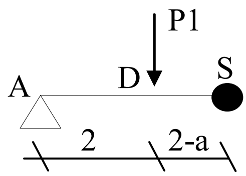
B. Penyelesaian cara analitis

1) Penentuan posisi titik sendi

Bagian A-D-S,

$$Rs = \frac{2P1}{(4-a)}$$

$$R_A = \frac{(2-a)P1}{(4-a)}$$



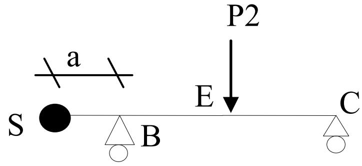
Momen maksimal di titik D

MD = - Rs (2 – a)

Bagian S-B-E-C,

Momen minimal di titik B (tumpuan)

MB = - Rs . a



Mmak = Mmin

MD = MB

- Rs (2 – a) = - Rs . a

2 – a = a

2 = 2a

a = 1

Jadi, jarak sendi tambahan S dengan tumpuan terdekat (B) adalah 1 m, jarak yang sama dengan yang diperoleh dari cara grafis.

Reaksi bagian A-D-S

$\Sigma M_S = 0 \rightarrow$ RAv . 3 – P1 . 1 = 0

$$RAv = \frac{5\,.\,1}{3} = 1{,}67\ kN$$

$\Sigma M_A = 0 \rightarrow$ - RS . 3 + P1 . 2 = 0

$$RS = \frac{5\,.\,2}{3} = 3{,}33\ kN$$

Reaksi bagian S-B-E-C

$\Sigma M_B = 0 \rightarrow$ - RCv . 4 + P2 . 2 – RS . 1 = 0

$$RCv = \frac{3\,.\,2 - 3{,}33.1}{4} = 0{,}67 kN$$

$\Sigma M_C = 0 \rightarrow$ RBv . 4 – RS . 5 - P2 . 2 = 0

$$RBv = \frac{3\,.\,2 + 3{,}33.5}{4} = 5{,}663\ kN$$

Momen,

MD = RAv . 2 = 1,67 . 2 = 3,34 kNm

ME = RCv . 2 = 0,67 . 2 = 1,34 kNm

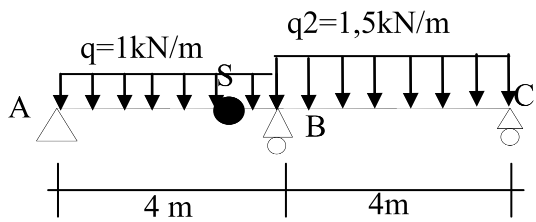
MB = - RS . 1 = -3,33 . 1 = -3,33 kNm

Dari hasil hitungan reaksi tumpuan dan besarnya momen di atas, terdapat selisih antara perhitungan secara grafis dengan cara analitis. Perbedaan tersebut timbul dari masalah ketelitian bacaan alat ukur gambar dan besaran digit alat hitung yang digunakan pada perhitungan analitis.

D. Balok Gerber dengan beban merata

Prinsip perhitungan dan cara melukis diagram gaya-gaya dalam dari balok gerber dengan beban merata sama dengan perhitungan pada kasus balok sederhana dengan beban merata, dengan prinsip kerja perhitungan balok gerber sama dengan yang berlaku pada balok gerber dengan beberapa beban titik.

Contoh kasus : balok gerber dengan beban merata



Gambar 134. Balok gerber dengan beban merata

1. Penyelesaian secara grafis

a. Menentukan posisi titik engsel (sendi):

1) Gambarkan diagram momen Mo pada masing-masing bentang seperti pada balok tunggal (Gambar 135b).

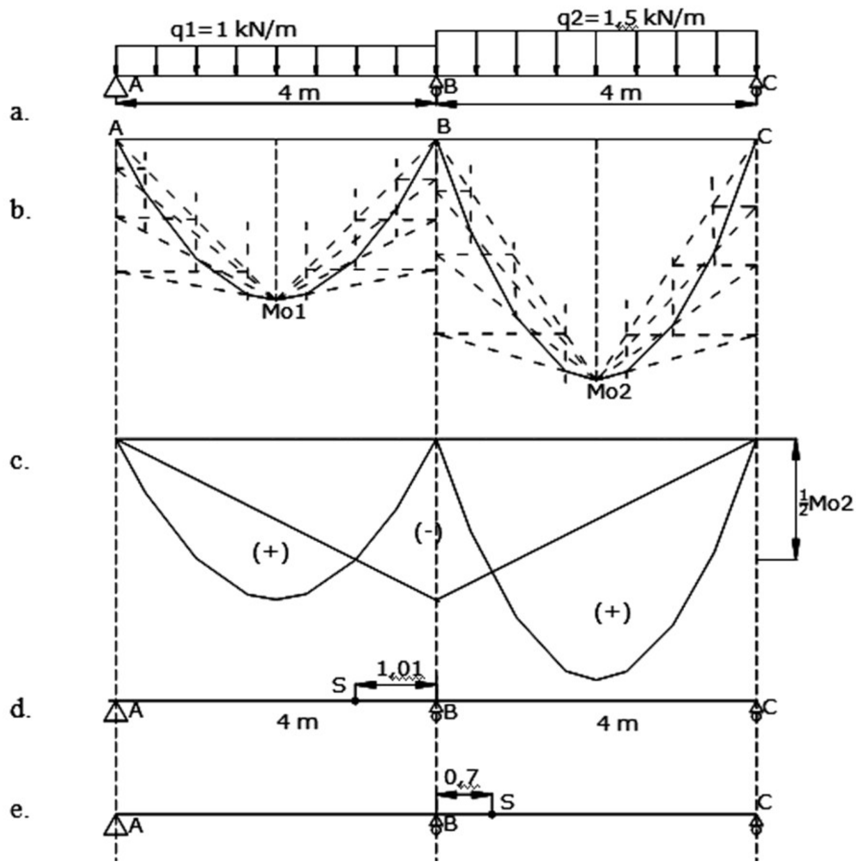
$$Mo = \frac{q.L^2}{8}$$

$$Mo_1 = \frac{q_1.L_1{}^2}{8} = \frac{1.4^2}{8} = 2kNm$$

$$Mo_2 = \frac{q_2.L_2{}^2}{8} = \frac{1{,}5.4^2}{8} = 3kNm$$

2) Agar diperoleh momen negatif sama dengan momen positif, di daerah bentang dengan Mo yang terbesar (Mo_2) dibagi dua. Tarik garis penutup dengan menghubungkan titik M=0 (Mneg=Mpos) ke perpotongan garis gaya tumpuan tengah dan dengan kedua titik tumpuan (Gambar 135c).

3) Sendi (engsel) diletakkan pada posisi M=0 (Mneg=Mpos) (Gambar 135d dan 135e).



Gambar 135. Penentuan posisi titik sendi secara grafis

b. Perhitungan gaya-gaya dalam dengan cara grafis

Langkah-langkah lukisan (gambar 136) :

1) Buat gambar situasi dengan skala tertentu, di sini digunakan skala jarak 1 cm = 1 m dan skala gaya 1 cm = 2 kN.
2) Perpanjang garis kerja RA_V, RB_V, RC_V, R1, R2, dan RS.
3) Lukis gaya R1, dan R2 dengan skala di atas, dan tentukan titik kutub O dengan jarak tertentu H, misalnya di sini diambil H = 1 cm
4) Lukis garis 1, 2, dan 3 pada lukisan kutub.
5) Lukis garis I, II, dan III pada perpanjangan garis kerja di atas, masing – masing sejajar dengan garis 1, 2, dan 3.

6) Hubungkan titik potong garis I - RA_V dengan titik potong garis II – RS sampai memotong garis kerja RB_V garis ini adalah garis SI.
7) Hubungkan titik potong garis SI – RB_V dengan titik potong garis III – RC_V , garis ini adalah garis SII.
8) Tarik garis S1 dan S2 yang melalui kutub O, yang masing-masing sejajar dengan garis SI dan SII.

Besarnya RA_V, RB_V, dan RC_V dapat diukur pada lukisan dan dikalikan dengan skala gaya yang digunakan. Dalam soal ini diperoleh :

RA_V = 0,7 . 2 = 1,4 kN,

RB_V = 3,1 . 2 = 6,2 kN, dan

RC_V = 1,2 . 2 = 2,4 kN.

Sedang besarnya momen adalah : H x ½ x Y x skala jarak x skala gaya.

Momen maksimum (posisi D=0)

Mx_1 = H . ½ . yx_1 . 1 . 2

= 1 . 0,5 . 0,93 . 1 . 2 = 0,93 kNm

Mx_2 = H . ½ . yx_2 . 1 . 2

= 1 . 0,5 . 1,85 . 1 . 2 = 1,85 kNm

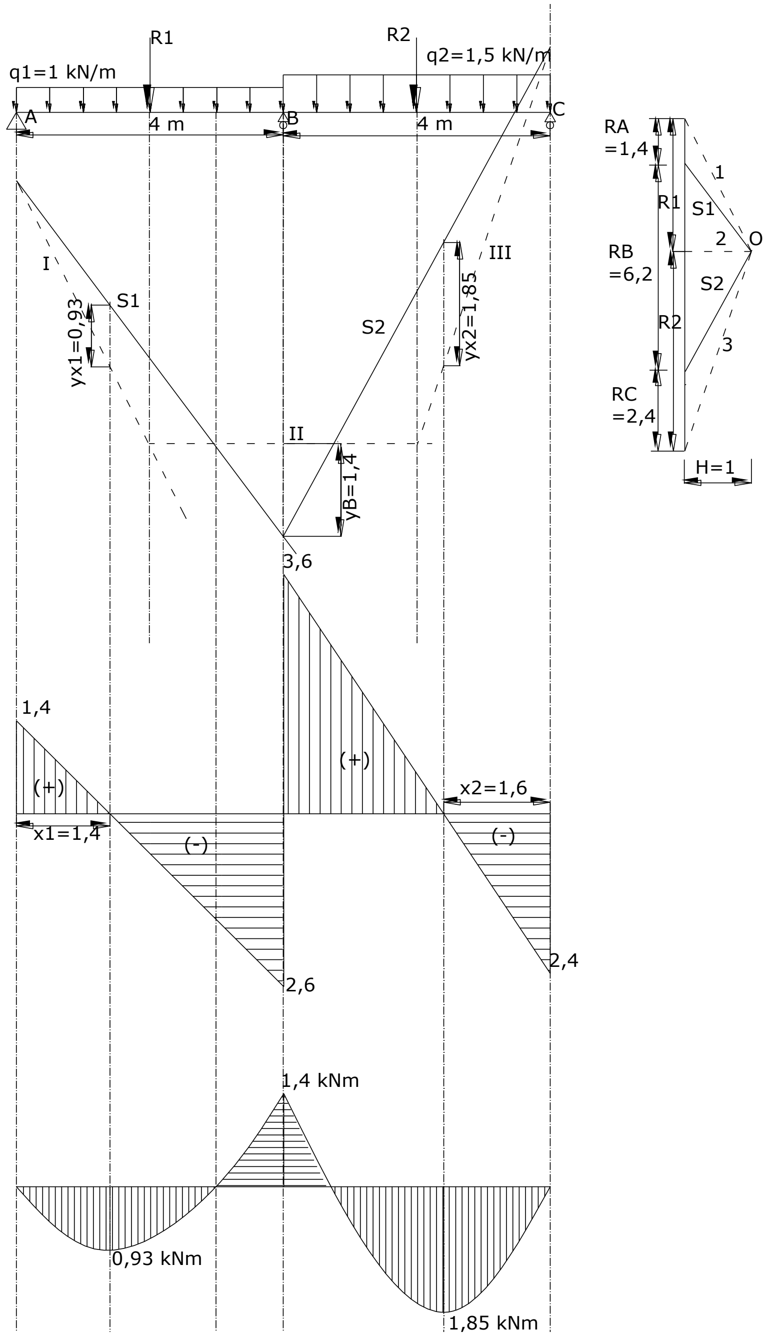
Momen minimum

MB = H . ½ . yB . 1 . 2

= 1 . 0,5 . 1,4 . 1 . 2

= 1,4 kN

Di sini diperoleh hasil momen minimum tidak sama dengan momen maksimum. Hal ini bisa terjadi karena kekurangtepatan dalam penggambaran yang merupakan kelemahan utama dari metode grafis ini.



Gambar 136. Perhitungan gaya-gaya dalam Balok Gerber dengan beban merata secara grafis

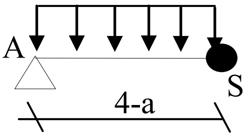
2. Penyelesaian secara analitis

Penentuan posisi titik sendi

Bagian A-S,

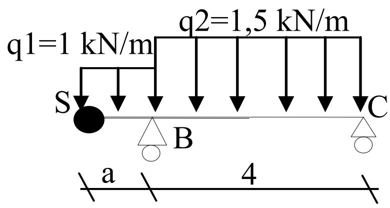
$$Rs = \frac{q1(4-a)}{2}$$

$$R_A = \frac{q1(4-a)}{2}$$



Gambar 137. Potongan bagian A-S dari balok gerber

Bagian S-B-C,



Gambar 138. Potongan bagian S-B-C dari balok gerber

$\Sigma MB = 0$

$-RC_V \cdot L_{cb} + q2.L_{cb} \cdot ½\, L_{cb} - q1.a \cdot ½\, a – RS.a=0$

$RC_V \cdot 4 = 1{,}5 \cdot 4 \cdot 2 – 0{,}5\, a^2 – ½ \cdot 1 \cdot (4\text{-}a) \cdot a$

$RC_V= 3 – ½\, a$

$\Sigma Fy = 0$

$RB_V + RC_V - RS – q1.a - q2 \cdot 4 = 0$

$RB_V = - (3 – ½\, a) + ½\, q1\, (4\text{-}a) + q1 \cdot a + q2 \cdot 4$

$RB_V= 5 + a$

Mmin= MB = -RS.a - (q1.a) . (½ .a)

= - ½.q1.(4 - a).a - ½.q1.a^2

= -2a

Pada lapangan BC, Mmaks terjadi pada posisi gaya geser (D) = 0. Misal D=0 terjadi pada jarak x m dari C, maka:

$Dx = RC_V - q2.x$

$0 = RC_V - q2.x$

$RC_V/q2 = x$

$Mmaks = RC_V.x - q2.x.\ ½.x$

$Mmaks = (3 - ½\ a)^2 / q2 - ½\ (3 - ½\ a)^2/q2\ .$

$= ½\ (3 - ½\ a)^2/q2\ .$

Disyaratkan bahwa momen positif sama dengan momen negatif (Mmaks = Mmin), maka diperoleh persamaan :

$½\ (3 - ½\ a)^2/q2 = |-2a|$

$(3 - ½\ a)^2 = 2a\ .\ 1{,}5\ .\ 2$

$9 - 3a + ¼\ a^2 = 6a$

$9 - 9a + ¼\ a^2 = 0$

$a^2 - 36a + 36 = 0$

Dengan menyelesaikan persamaan kuadrat di atas diperoleh:

$a = 1{,}01$

Jadi, jarak engsel tambahan S adalah 1,01 di sebelah kiri tumpuan tengah B.

Besarnya reaksi tumpuan dihitung dengan memasukkan besarnya nilai a ke dalam persamaan-persamaan besaran reaksi tumpuan yang telah diuraikan sebelumnya.

Reaksi tumpuan:

$$R_A = R_s = \frac{q1(4-a)}{2}$$

$$R_A = R_s = \frac{1(4-1{,}02)}{2} = 1{,}49\ kN$$

$RB_V = 5 + a$

$RB_V = 5 + 1{,}02$

$RB_V = 6{,}02$ kN

$RC_V = 3 - ½\ a$

$RC_V = 3 - ½ \times (1{,}02)$

RC_V = 2,49 kN

Besaran gaya-gaya dalam dapat ditentukan pada kasus balok overstek.

Gaya geser,

$DA = RA_V = 1,49$ kN

$DB_1 = DA - q1 . 4 = 1,49 - 1 . 4 = - 2,51$ kN

$DB_2 = DB_1 + RB_V = - 2,51 + 6,02 = 3,51$ kN

$DC_1 = DB_2 - q2 . 4 = 3,51 - 1,5 . 4 = - 2,49$ kN

$DC_2 = DC_1 + RC_V = - 2,49 + 2,49 = 0$ kN

Momen,

Momen lapangan bentang AS,

$$\begin{aligned} M_{maks} &= 1/8 . q1. (L - a)^2 \\ &= 1/8 . 1.(4 - 1,02)^2 \\ &= 1,11 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen lapangan bentang BC,

Posisi Mmaks (D=0) :

$$\frac{DB_2}{x} = \frac{DC_1}{4 - x}$$

$$\frac{3,51}{x} = \frac{2,49}{4 - x}$$

$$x = \frac{14,04}{6} = 2,34$$

Sehingga Mmaks terjadi pada jarak x = 2,34 m di sebelah kanan tumpuan B

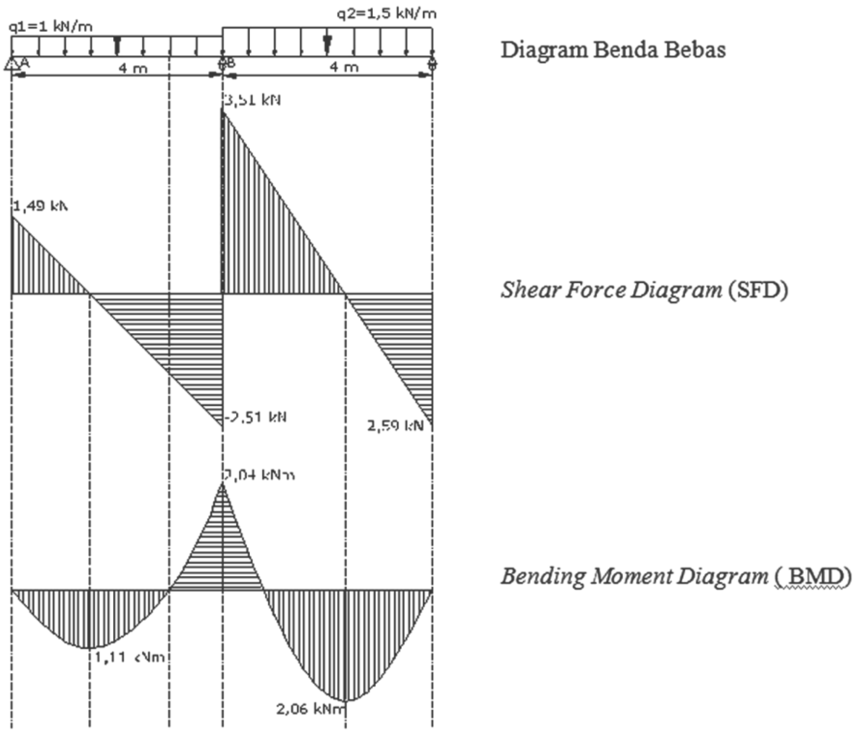
$$M_{maks} = - RS . (a+x) - q1 . a . (½ a + x) + RB_V . x - ½ . q2 . x^2$$

$$\begin{aligned} M_{maks} &= - 1,49 . (1,02 + 2,34) - 1 . 1,02 . (½ . 1,02 + 2,34) + 6,02 . 2,34 - ½ . 1,5 . 2,34^2 \\ &= 2,06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{min} &= - RS . a - ½ . q1 . a^2 \\ &= - 1,49 (1,02) - ½ . 1 . (1,02)^2 \end{aligned}$$

Mmin = - 2,04 kNm (≈ Mmaks di bentang BC)

Gambar SFD dan BMD dari balok gerber tersebut dari hasil perhitungan secara analitis adalah sebagai berikut.



Gambar 139. Hasil perhitungan gaya-gaya dalam Balok Gerber dengan beban merata secara analitis

Daftar Bacaan Tambahan

Bambang Sulistyo Budhi. 2003. *Pedoman Perkuliahan Mekanika Teknik I*. Surakarta: PUSBANGJARI UNS

Edifrizal Darma. 2009. "Konstruksi balok dengan beban tidak langsung dan kostruksi balok yang miring"(online), (*http://teorikuliah.blogspot.com/2009/08/konstruksi-balok-dengan-beban-tidak.html*

Frick Heinz. 1979. *Mekanika Teknik 1*. Yogyakarta: Kanisius

Khurmi,R.S. 1977. *Strength of materials*. New Delhi: S. Chand & Company LTD

Nielsen Stuart, S. 1997. *Introductory Structural Analysis*. Nieko Technical Publishing

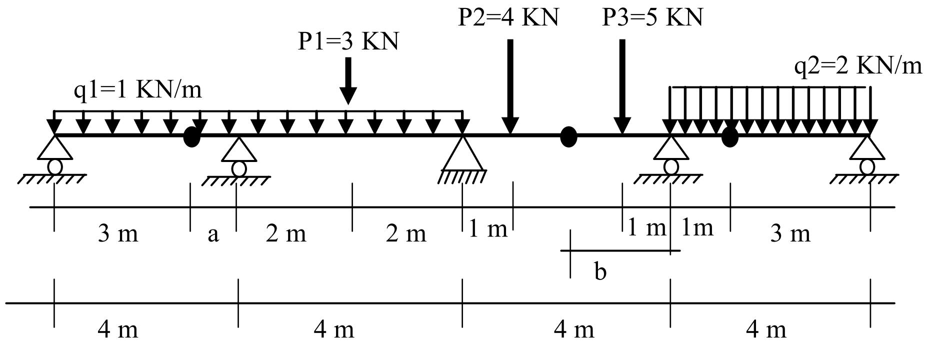
Todd J.D. 1984. *Teori dan Analisis Struktur.* Erlangga: Jakarta

Pertanyaan Kunci

Jelaskan mekanisme dasar perhitungan gaya-gaya dalam pada balok gerber, sehingga balok dengan bentang lebih dari satu tersebut dapat diselesaikan sebagai struktur statis tertentu!

Soal

Hitung dan gambarkan SFD dan BMD struktur balok gerber berikut ini!



Tugas

Hitung dan gambarkan SFD dan BMD struktur balok gerber berikut ini!