

BAB II

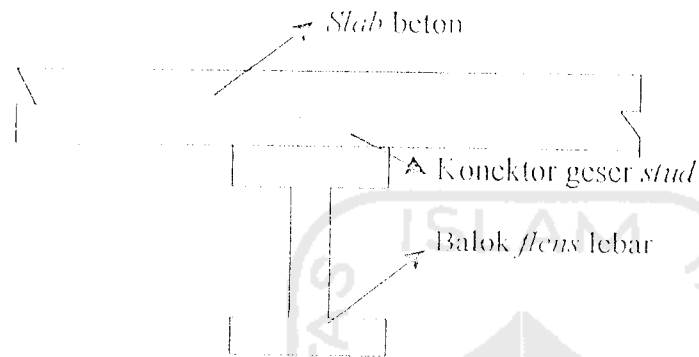
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Latar Belakang Historis

Selama bertahun-tahun, lempeng beton bertulang yang terletak di atas gelagar baja dipakai tanpa memperhitungkan pengaruh dari struktur komposit. Pada tahun-tahun belakangan ini, telah diperlihatkan bahwa lempeng beton dan gelagar baja yang digabung secara bersama dan bekerja menjadi satu kesatuan dalam menahan gaya geser atau gaya horisontal. Daya tahan gabungan ini dapat diperoleh baik seiring dengan adanya kemajuan dalam bidang pengelasan. Hal ini bersangkutan dengan kemudahan dalam pemakaian konektor geser mekanis untuk menahan geser horisontal yang terjadi selama pelenturan. Dengan demikian diperoleh suatu penambahan kekuatan yang cukup berarti.

Balok baja yang dibungkus beton telah dipakai secara luas sejak awal tahun 1900-an dan terus berkembang hingga saat ini. Pada awal tahun 1930-an, struktur jembatan mulai menggunakan penampang komposit. Menjelang tahun 1960-an penggunaan struktur komposit pada bangunan gedung bertingkat sudah banyak digunakan. Namun dewasa ini telah digunakan aksi komposit pada hampir semua situasi dengan terjadi kontak antara baja dan beton, baik untuk struktur jembatan maupun bangunan gedung (Charles G. Salmon dan Salmon W. Johnson, *Disain dan Perilaku Baja*, 1992).

Struktur komposit yang dimaksud disini terdiri dari sebuah slab beton cetak ditempat yang solid, yang ditempatkan di atas gelagar baja dari profil I-las atau penampang W-tempa dan salig dihubungkan, seperti terlihat pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1. Balok baja-beton komposit konvensional.

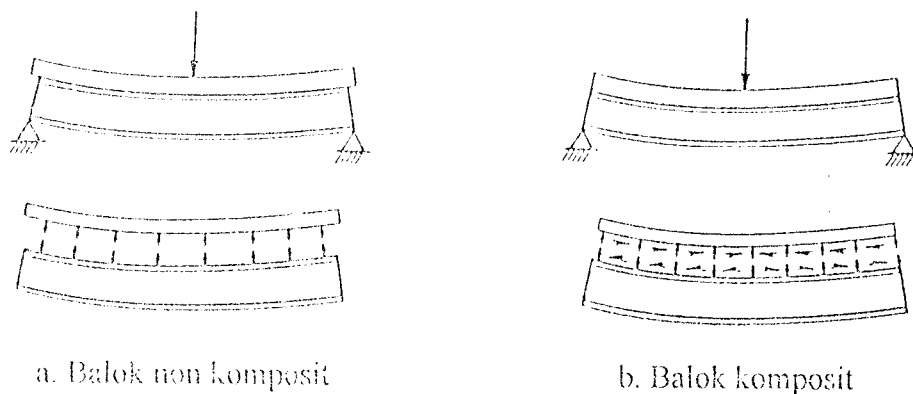
Slab beton tersebut sering dicetak diatas dak baja bentukan dingin dan slab itu sendiri ditumpu oleh penampang baja berprofil I.

Balok komposit adalah balok dengan flens lebar (*slab* beton) yang secara tipikal mempunyai bentang antara 8 ft sampai dengan 15 ft diantara balok-balok paralel. Teori balok biasa yang tegangannya diasumsikan konstan melintang lebar balok pada suatu jarak tertentu dari sumbu netral tidak berlaku. Teori menunjukkan bahwa tegangan akan berkurang jika jaraknya bertambah jauh dari bagian yang kaku (dalam hal ini penampang baja) pada balok tersebut seperti dalam memperlakukan balok tampang T pada beton bertulang, yang lebar ekuivalennya digunakan sebagai ganti dari lebar aktual, sehingga teori dari balok biasa dapat digunakan. Teori tentang lebar efektif yang dipakai LRFD akhir-akhir ini sebelumnya telah diulas oleh beberapa ilmuwan antara lain oleh Brendel, Heins, Fan, Vallenilla dan Bjorhovde.

2.2. Aksi Komposit

Aksi komposit terjadi bila dua batang struktural penumpu beban seperti sistem lantai beton dan balok penyangga dihubungkan secara menyeluruh dan mengalami defleksi sebagai satu kesatuan. Sejauh mana aksi komposit itu terjadi tergantung pada provisi-provisi yang dibuat untuk menjamin terjadinya regangan linier tunggal dari bagian atas slab beton sampai ke bagian bawah penampang bajanya.

Dalam mengembangkan konsep perilaku komposit pertama-tama yang harus diperhatikan adalah balok bertulang biasa atau non komposit. Apabila gesekan / friksi yang terjadi antara slab beton dan baloknya diabaikan sehingga balok dan slab masing-masing akan memikul sebagian beban secara terpisah. Bila slabnya mengalami deformasi karena beban vertikal, permukaan bawahnya berada dalam keadaan tarik dan akan mengalami perpanjangan sedangkan bagian permukaan bagian atas balok bajanya mengalami tekan dan akan mengalami perpendekan. Dengan demikian akan mengalami diskontinuitas pada bidang kontakannya. Pada gambar 2.2 menunjukkan perbandingan antara balok yang mengalami defleksi dengan dan tanpa aksi komposit.



a. Balok non komposit

b. Balok komposit

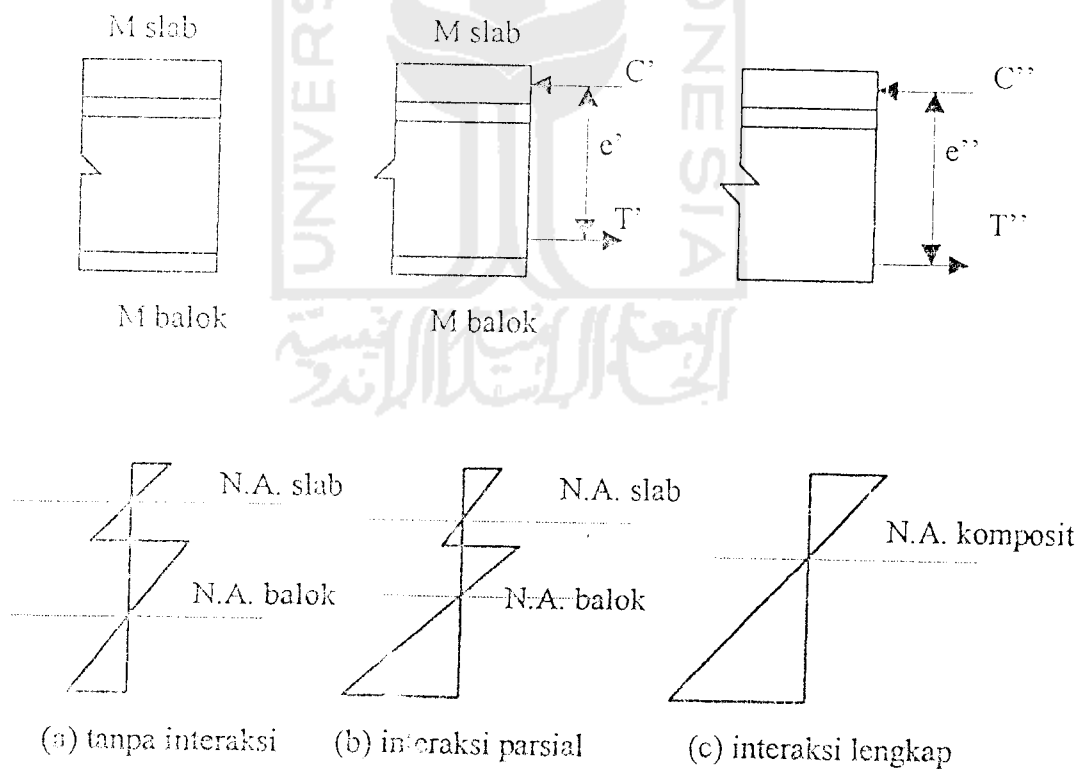
Gambar 2.2. Perbandingan antara balok yang mengalami defleksi dengan dan tanpa aksi komposit

Apabila suatu sistem bekerja secara komposit tidak akan terjadi geser antara slab dan balok. Gaya-gaya horisontal (geser) terjadi dan bekerja pada permukaan bawah slab beton tersebut sehingga menahan dan membuatnya menjadi lebih pendek, sementara gaya-gaya tersebut juga bekerja pada permukaan atas balok dan membuatnya menjadi lebih panjang.

Dengan menyelidiki distribusi regangan yang terjadi bila tidak terjadi interaksi antara slab beton dan balok bajanya, terlihat bahwa Momen Resisten (M) total sama dengan :

$$\Sigma M = M \text{ slab} + M \text{ balok}$$

Pada gambar 2.3 ditunjukkan variasi regangan pada balok-balok komposit :



Gambar 2.3. Variasi regangan pada balok-balok komposit

Terlihat bahwa dalam kasus ini terdapat dua sumbu netral, satu pada pusat gravitasi slab dan yang lainnya pada pusat gravitasi balok. Gelincir horisontal yang terjadi karena bagian bawah slab dalam keadaan tarik dan bagian atas balok dalam keadaan tekan.

Pada gambar 2.2.b. sumbu netral lebih dekat ke balok, dan sumbu netral balok lebih dekat ke slab karena adanya interaksi parsial, sekarang gelincir horisontal telah berkurang. Dengan adanya interaksi parsial maka terjadi gaya tekan dan tarik maksimum C'' dan T'' pada balok baja dan slab betonnya. Sebagian momen tambahan tersebut mengalami tambahan sebesar $T''e''$ atau $C''e''$.

Pada aksi komposit penuh yang terjadi interaksi lengkap diantara slab dan balok tidak akan terjadi gelincir dan diagram regangan yang dihasilkan terdapat sumbu netral tunggal yang terletak di bawah sumbu netral slab dan di atas sumbu netral balok. Selain itu gaya tarik dan tekan C''' dan T''' yang dihasilkan menjadi lebih besar dari C'' dan T'' yang terjadi pada interaksi parsial.

Jadi momen tahanan yang terjadi :

$$\Sigma M = T'' \cdot e'' \quad \text{atau} \quad \Sigma M = C'' \cdot e'' \dots\dots\dots(2.1)$$

2.3. Kelebihan dan Kekurangan

Kelebihan yang diperoleh dari disain komposit dibandingkan dengan balok baja biasa adalah :

1. Terjadi pengurangan berat taja

Dengan memanfaatkan kelebihan sepenuhnya sistim komposit, sering diperoleh penghematan berat baja sekitar 20 sampai 30 %.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Perbandingan berat struktur komposit dan non komposit

<i>Type of Beam</i>	<i>Relatif Weight</i>
<i>Non composit rolled beam</i>	100
<i>Composit symmetrical rolled beam</i>	
<i>a. Without flange plates</i>	
1. <i>Unshoring</i>	92
2. <i>Shoring</i>	77
<i>b. With flange plate on bottom flange</i>	
1. <i>Unshoring</i>	76
2. <i>Shoring</i>	64
<i>Composit welded plate girder</i>	
1. <i>Unshoring</i>	69
2. <i>Shoring</i>	40 - 60

Sumber : *Handbook of Composite Construction Engineering, Gajanan M. Sabnis, Ph., D.P.E.*

2. Balok baja lebih dangkal

Dengan adanya pengurangan berat baja yang dipakai, memungkinkan digunakannya batang yang lebih dangkal dan lebih ringan. Dengan demikian dapat mengurangi tinggi bangunan pada bangunan yang memiliki lantai banyak, sehingga dapat menghemat bahan-bahan bangunan dan struktur bangunan lainya seperti dinding luar dan tangga.

3. Kekakuan lantai menjadi lebih besar

Pada struktur lantai yang menggunakan sistem komposit kekakuan menjadi lebih besar dibandingkan dengan lantai beton bertulang biasa atau dengan balok-balok penyangga yang bekerja secara terpisah. Pada lantai beton bertulang biasa umumnya slab beton bekerja sebagai pelat satu arah yang membentang diantara balok-balok penyangga. Sedangkan pada desain komposit diperoleh manfaat tambahan dari slab itu karena aksinya dalam arah sejajar dengan balok-balok baja penyangganya, dengan demikian momen inersia yang dihasilkan menjadi lebih besar. Dengan hasil momen inersia yang lebih besar maka kekakuan lantai yang dihasilkan menjadi lebih besar pula.

4. Struktur balok komposit dapat dipakai untuk bentang-bentang panjang

Dengan bertambahnya kekakuan yang lebih baik akan mengurangi defleksi akibat beban hidup dan bila strukturnya dilakukan shoring, maka akan mengurangi pula defleksi akibat beban mati. Dengan defleksi yang kecil ini memungkinkan sekali dipakainya panjang bentang yang lebih besar.

Sementara tidak banyak kekurangan yang menonjol, sejumlah keterbatasan harus pula disadari. Pada struktur balok menerus, wilayah momen negatif akan memiliki kekakuan yang berbeda karena slab beton dalam keadaan tarik diperkirakan akan mengalami retak dan tidak ikut menyumbang kekakuan.

Defleksi jangka panjang yang disebabkan oleh susut (*creep*) dan rangkask (*shrinkage*) beton dapat bersifat penting jika penampang komposit tersebut menahan sebagian besar beban mati atau bila beban hidup berjangka lama.

2.4. Metode Perencanaan Balok Komposit

Metode perencanaan balok komposit yang dikenal sekarang ada dua metode yaitu metode ASD (*Allowable Stress Design*) dan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).

Dalam perencanaan balok komposit baja - beton baik itu menurut metoda ASD maupun LRFD selalu memperhatikan atau membedakan batasan keamanan dengan melihat metode pelaksanaan yang digunakan. Dalam pelaksanaannya dikenal 2 metode yaitu *Shoring* atau *Unshoring* (menggunakan perancah atau tanpa perancah).

2.4.1. Metode ASD (*Allowable Stress Design*)

Menurut metode ini, elemen struktural harus direncanakan sedemikian rupa hingga tegangan yang dihitung akibat beban kerja atau servis tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan, sehingga tegangan yang terjadi harus berada dalam batas elastis yaitu perubahan tegangan dibanding dengan perubahan regangannya selalu konstan.

Metode ASD memberikan batasan keamanan sebagai berikut :

1. Untuk struktur yang menggunakan perancah (*shoring*) harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - pada serat atas slab beton, tegangan yang terjadi $f_c \leq 0,45 f'_c$,
 - pada serat bawah balok baja tegangan yang terjadi $f_b \leq 0,66 F_y$.
2. Untuk struktur yang tanpa menggunakan perancah (*unshoring*) harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- Sebelum beton mengeras :

tegangan akibat beban mati harus memenuhi syarat :

$$fb_1 = \frac{M_D}{S_s} \leq 0,6 F_y \dots \dots \dots (2. 2)$$

- Setelah beton mengeras

$$fb_2 = \frac{M_L}{S_r} \dots \dots \dots (2. 3)$$

$$fb_1 + fb_2 \leq 0,9 F_y \dots \dots \dots (2. 4)$$

$$fc = \frac{M_L}{n S_u} \leq 0,45 F_c \dots \dots \dots (2. 5)$$

ASD mendisain didasarkan pada kekuatan balok komposit yang tidak tergantung pada apakah baloknya disekur atau tidak. ASD memberikan pendekatan-pendekatan sebagai berikut :

1. Pendekatan ASD-12.2 adalah mendisain untuk beban mati dan beban hidup yang bekerja pada penampang komposit S_r , yang diacu ke serat ekstrem tarik,

$$S_r \text{ yang dibutuhkan} = \frac{M_D + M_L}{0,66 F_y} \dots \dots \dots (2. 6)$$

dengan M_D = Momen layanan yang disebabkan oleh beban-beban yang dikenakan sebelum waktu dengan beton tersebut mencapai 75 % kekuatan yang dibutuhkan. (pembebanan non komposit).

M_L = momen beban layanan yang disebabkan oleh beban-beban yang dikenakan setelah beton tersebut mencapai 75 % kekuatan yang dibutuhkan.

Tegangan $0,66 F_y$ didasarkan atas kondisi bahwa penampang tersebut memenuhi persyaratan penampang kompak dari ASD - B5 untuk badan balok.

2. Bila sekur sementara tidak digunakan secara aktual, tegangan layan terhadap penampang baja harus dicek dan diferifikasikan sehingga tidak melebihi $0,9 F_y$.

$$f_b = \frac{M_D}{S_s} + \frac{M_L}{S_{tr}} \leq 0,90 F_y \quad (2. 7)$$

dengan S_s = modulus penampang dari penampang bajanya saja yang diacu pada serat ekstrem tarik.

S_{tr} = modulus penampang efektif dari penampang komposit transformasi yang diacu ke flens tarik, dihitung bila kekuatan betonnya telah mencapai 75 % dari kekuatan yang disyaratkan.

3. Bila shore tidak digunakan, balok bajanya saja harus menumpu semua beban yang dikenakan sebelum beton mencapai 75 % kekuatan yang dispesifikasikan.

$$S_s \text{ yang dibutuhkan} = \frac{M_D + M_{\text{construction}}}{F_b} \quad (2. 8)$$

dengan F_b dapat $0,66 F_y$ atau lebih kecil bila tekuk lokal flensnya atau tekuk puntir lateralnya menentukan.

2.4.2. Metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)

Menurut metode ini, elemen struktural direncanakan berdasarkan keadaan batas teleransi beban dan keadaan batas kekuatan bahan. Yang dimaksud keadaan batas adalah suatu keadaan pada struktur bangunan dengan bangunan tersebut dirancang

sampai tidak bisa memenuhi fungsi yang telah direncanakan. Dalam perencanaan keadaan batas m, batas toleransi beban dan batas toleransi kekuatan bahan dikalikan dengan faktor yang dapat memberikan tingkat keamanan yang cukup.

Disain balok komposit melibatkan penyediaan kekuatan plastis penampang komposit ϕM_p yang cukup untuk mengimbangi momen terfaktornya. dengan menggunakan profil W tempa, tekuk lokal tidak akan menjadi keadaan batas yang menentukan; dan karena flange tekan ditempelkan ke slab beton, tekuk puntir lateral dapat dicegah menjadi keadaan batas yang menentukan.

Dengan demikian disyaratkan bahwa :

$$\phi b M_p \geq M_u \quad (2. 9)$$

dengan $\phi b = 0,85$ untuk sebuah balok komposit.

Secara umum, disain harus dimulai dengan mengasumsikan sumbu netral plastis (NPA) berada di dalam slab.

Luas As yang dibutuhkan :

$$\text{As yang dibutuhkan} = \frac{M_u}{\phi b F_y \left[\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right]} \quad (2. 10)$$

Metode LRFD memberikan batasan keamanan sebagai berikut ini.

Untuk mengatasi ketidakpastian beban yang didukung maka LRFD memberikan beberapa faktor pengali terhadap beban yang didukung oleh struktur. Adapun kombinasi faktor pengali tersebut adalah sebagai berikut :

- 1.4 D
- 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (Lr atau S atau R)
- 1.2 D + 1.6 (Lr atau S atau R) + (0.5 L atau 0.8 W)

$$d. 1.2 D + 1.3 W + 0.5 L + 0.5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$$

$$e. 1.2 D + 1.5 E + (0.5 L \text{ atau } 0.2 S)$$

$$f. 0.9 D - (1.3 W \text{ atau } 1.5 E)$$

Keterangan:

- D = beban mati (beban gaya berat dari elemen-elemen struktural dan tempelan permanen).
- L = beban hidup (beban peralatan yang dapat bergerak dan okupansi gaya berat).
- L_r = beban hidup atap.
- W = beban angin.
- S = beban salju.
- E = beban gempa.
- R = beban air hujan atau beban es.

Untuk memberikan keamanan yang cukup terhadap ketidakpastian mutu dari bahan struktur baik baja maupun beton, maka LRFD memberikan faktor reduksi terhadap kapasitas tampang balok nominal. Faktor reduksi yang diberikan AISC untuk balok sebesar $\phi_b = 0,85$.