

Struktur Baja 2

Kuliah 1 - Struktur Portal Baja

Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Curriculum Vitae

Name : Totok Andi Prasetyo, ST., MT.
Address : Perum. Harapan Indah Taman Puspa
Blok HO2 No. 88, Bekasi
Place/Birth date : Karanganyar, 4 Aug 1977
Religion : Islam
No. IPTB/Lisence : 102/8.6.1/31/-1.785.5/2016
Email : totokandi77@yahoo.com



Formal Education : S1 - Universitas Islam Indonesia (UIN) Yogyakarta (2001)
Magister – Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) (2020)

Curriculum Vitae

Experience Working

1. **Structural Engineer** at PT. Megah Bangun Baja Semesta (MBBS) (2002-2007)
2. **Senior Structural Engineer** at PT. Stadin Strukturindo Konsultan (2007-2013)
3. **Senior Structural Engineer** at PT. Meinhardt Indonesia (2013)
4. **Senior Structural Engineer** at PT. Indoswissatama (2013)
5. **Senior Structural Engineer** at PT. Meinhardt Indonesia (2014-2015)
6. **Manager Engineer** at PT. Total Solusi Konstruksi (2015)
7. **Senior Structural Engineer** at PT. Meinhardt Indonesia (2014-2018)
8. **Senior Structural Engineer** at PT. Stadin Strukturindo Konsultan (2019-2020)
9. **Director** at PT. TAP Rekayasa Struktur (2020-Sekarang)

Struktur Portal Baja

Pendahuluan

Secara umum, terdapat 3 (tiga) kategori tipe struktur bangunan baja industrial. Di antaranya adalah (a) portal frame, (b) portal truss, dan (c) space truss.

Umumnya, untuk panjang bentang 20-40 meter, biasanya akan menggunakan tipe portal frame. Sementara untuk panjang bentang 40-70 meter, akan menggunakan tipe portal truss. Dan untuk panjang bentang >70 meter, akan menggunakan tipe space truss yang merupakan kombinasi portal frame dan truss.

1. Portal Frame

Portal Frame adalah sistem struktur portal kaku yang berbentuk segitiga pelana pada satu bidang tunggal. Adapun elemen-elemen struktur yang mendukung beban kerja di antaranya adalah rafter, kolom, base-plate, stiffener, dan haunch.

Dalam desain struktur bangunan, seringkali komponen haunch tidak melalui perhitungan yang detail, namun hanya sebagai komponen tambahan yang mendukung kekakuan lentur struktur segitiga pelana. Idealisasi dan asumsi struktur portal frame adalah bahwa setiap elemen vertikal dan horizontal yang menerima beban mampu untuk menerima gaya internal secara penuh baik itu momen, geser, dan aksial.

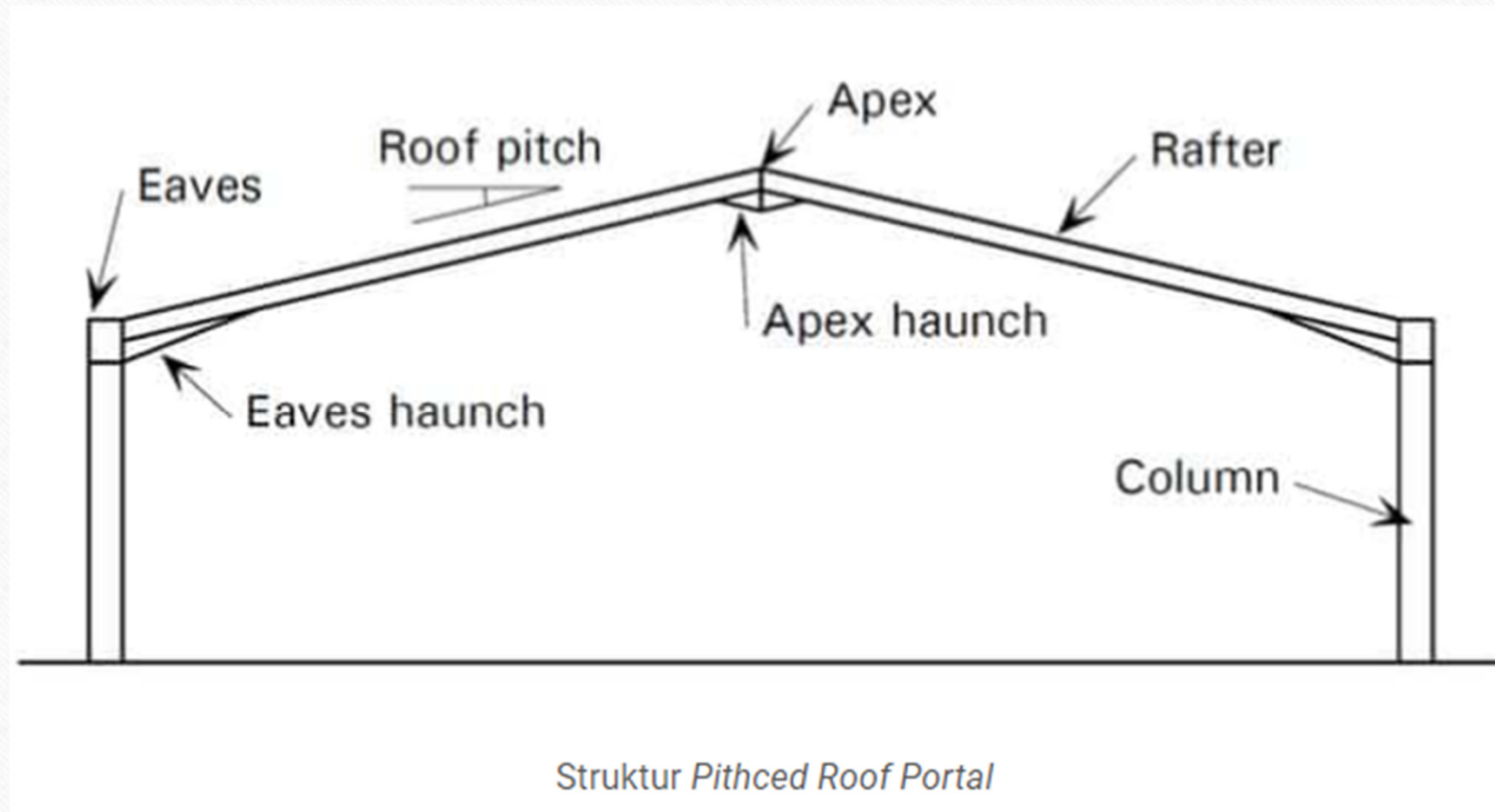
1. Portal Frame

Dengan mempertimbangkan gaya yang terlibat pada struktur, biasanya akan digunakan beberapa profil. Di antaranya adalah profil Wide Flange (WF), profil H untuk bagian kolom, dan profil honeycomb untuk bagian rafter.

1. Portal Frame



1. Portal Frame



2. Portal Truss

Portal Truss adalah sistem struktur portal yang bagian struktur horizontalnya merupakan susunan rangka batang pada satu bidang tunggal.

Susunan rangka batang harus mengakomodasi kekakuan dan kekuatan dalam sistem gaya tarik-tekan saja. Rangka batang akan menggunakan susunan konfigurasi segitiga yang secara mekanik dapat memberikan efek kekakuan dan kekangan (penahanan) yang tinggi.

Dengan fenomena mekanik tersebut, dibandingkan dengan sistem portal frame, maka Portal Truss dapat mengurangi efek lendutan pada bentang panjang.

2. Portal Truss

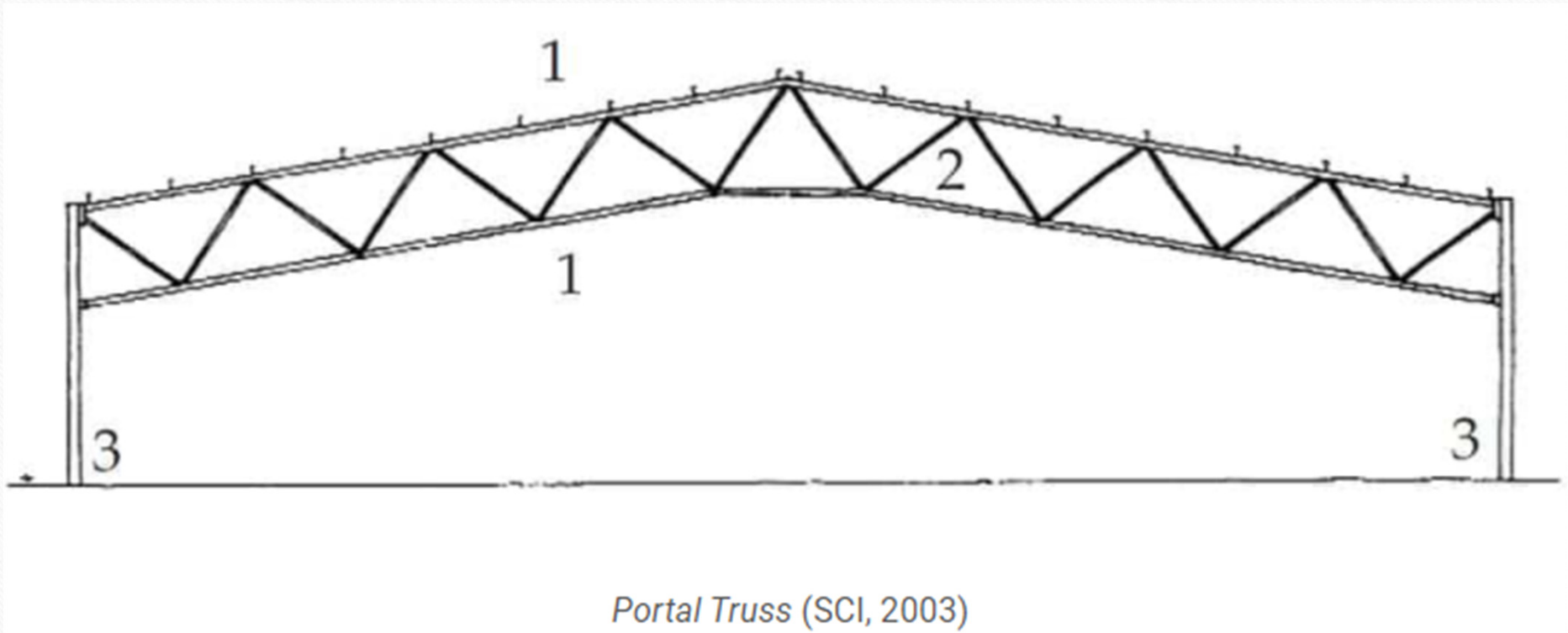
Idealisasi dan asumsi pada struktur portal truss menggambarkan bahwa setiap elemen hanya mampu menerima gaya tarik dan tekan saja. Konsekuensinya adalah tipe sambungan pada sistem ini bersifat sendi. Dengan kondisi tersebut, maka beban-beban akan terkonsentrasi pada titik-titik buhulnya (simpul).

Karena hanya mempertimbangkan gaya tarik-tekan saja, maka profil yang biasa digunakan pada struktur portal truss ini adalah profil yang “tipis” seperti profil kanal, siku, hollow tubular, dan rectangular.

2. Portal Truss



2. Portal Truss



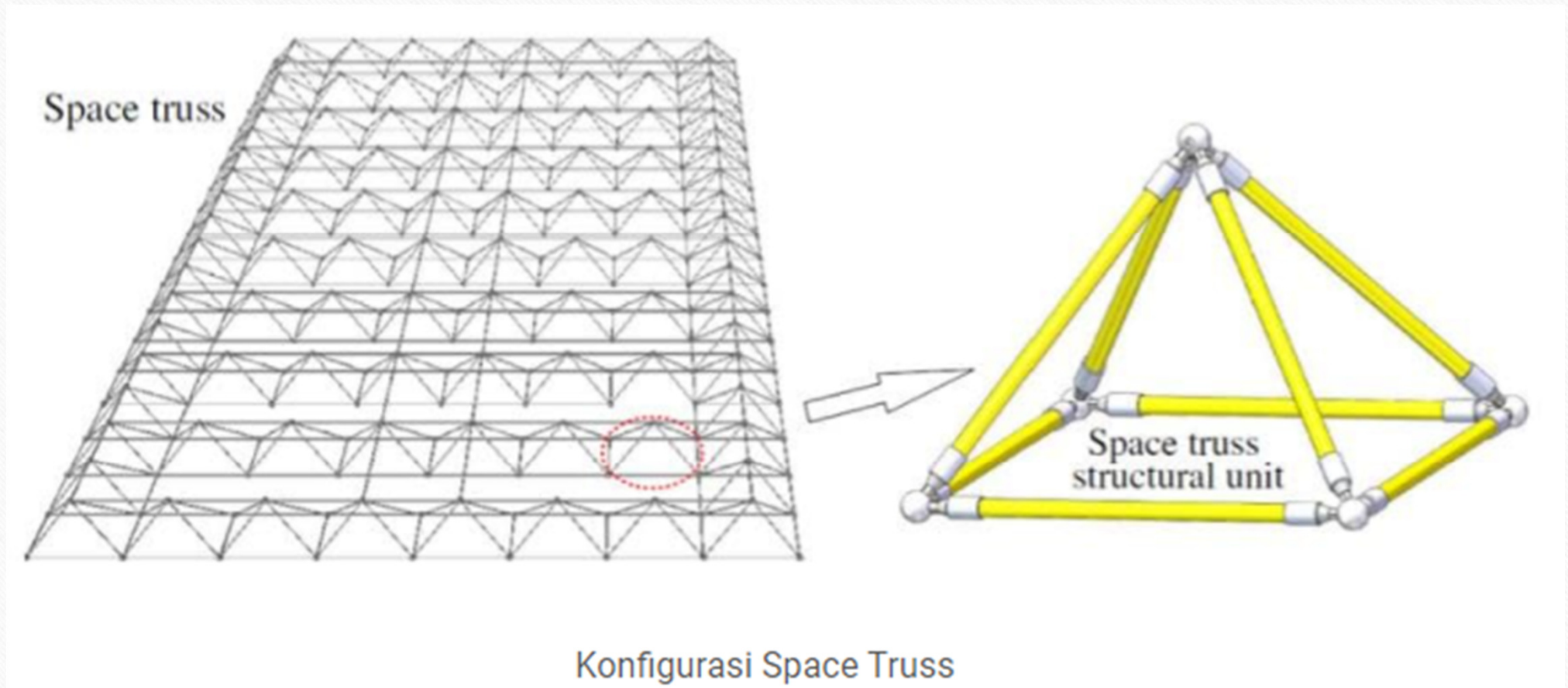
3. Space Truss

Space Truss adalah struktur kombinasi rangka yang membentuk segitiga yang secara global membentuk volume tiga dimensi. Dalam space truss, setiap elemen terdiri dari 6 (enam) rangka batang untuk membentuk satu kesatuan struktur yang kaku dan stabil.

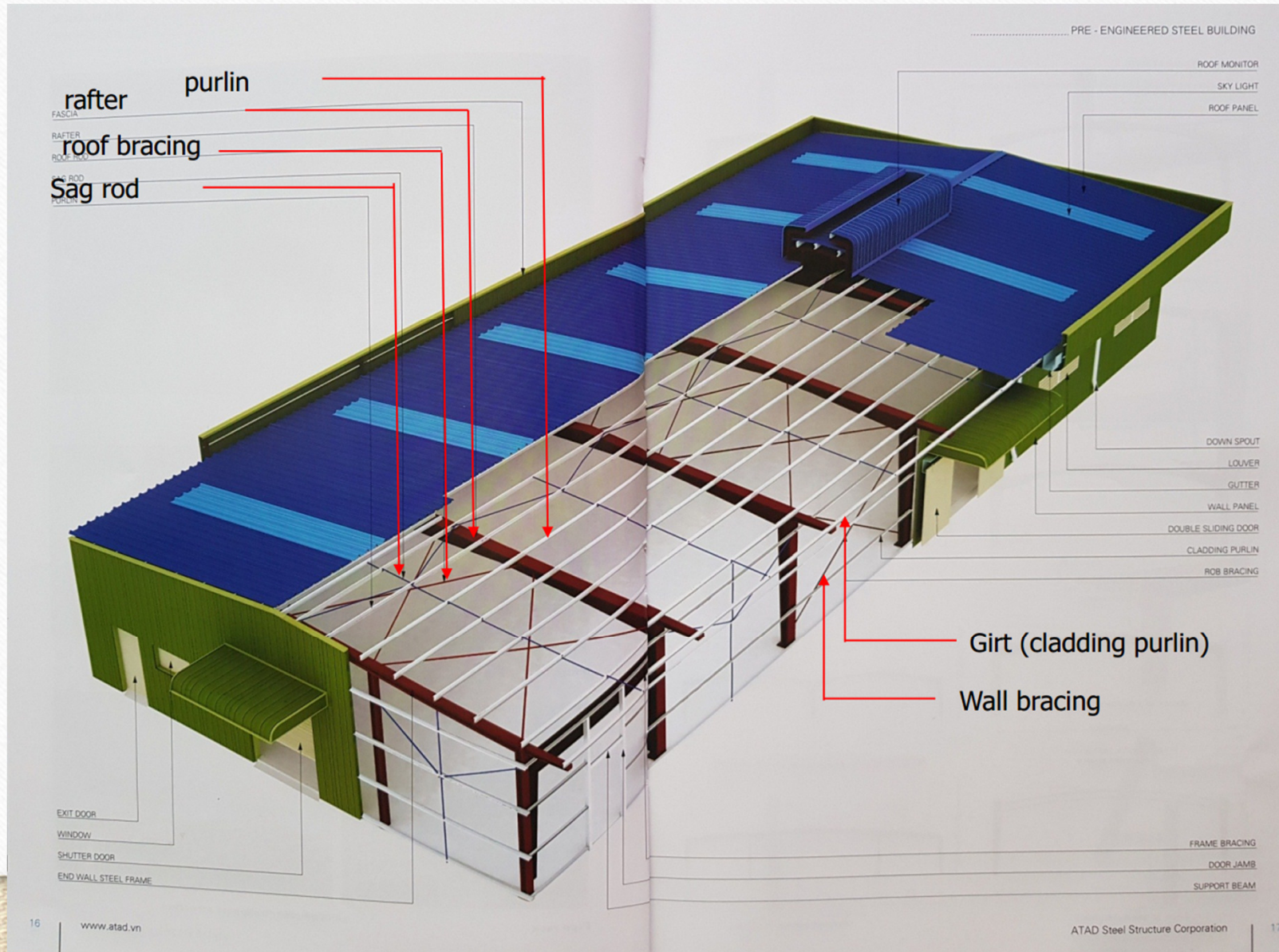
Selain pada bangunan warehouse, struktur space truss banyak digunakan pada atap stadion bahkan hanggar pesawat terbang. Konsep mekanika dari space truss secara umum sama dengan portal truss, namun space truss bekerja pada berbagai bidang dan tidak hanya pada satu bidang tunggal saja.

Oleh karena itu, bentang yang ditawarkan oleh sistem space truss jauh lebih besar dibandingkan portal truss, apalagi jika dibandingkan dengan portal frame.

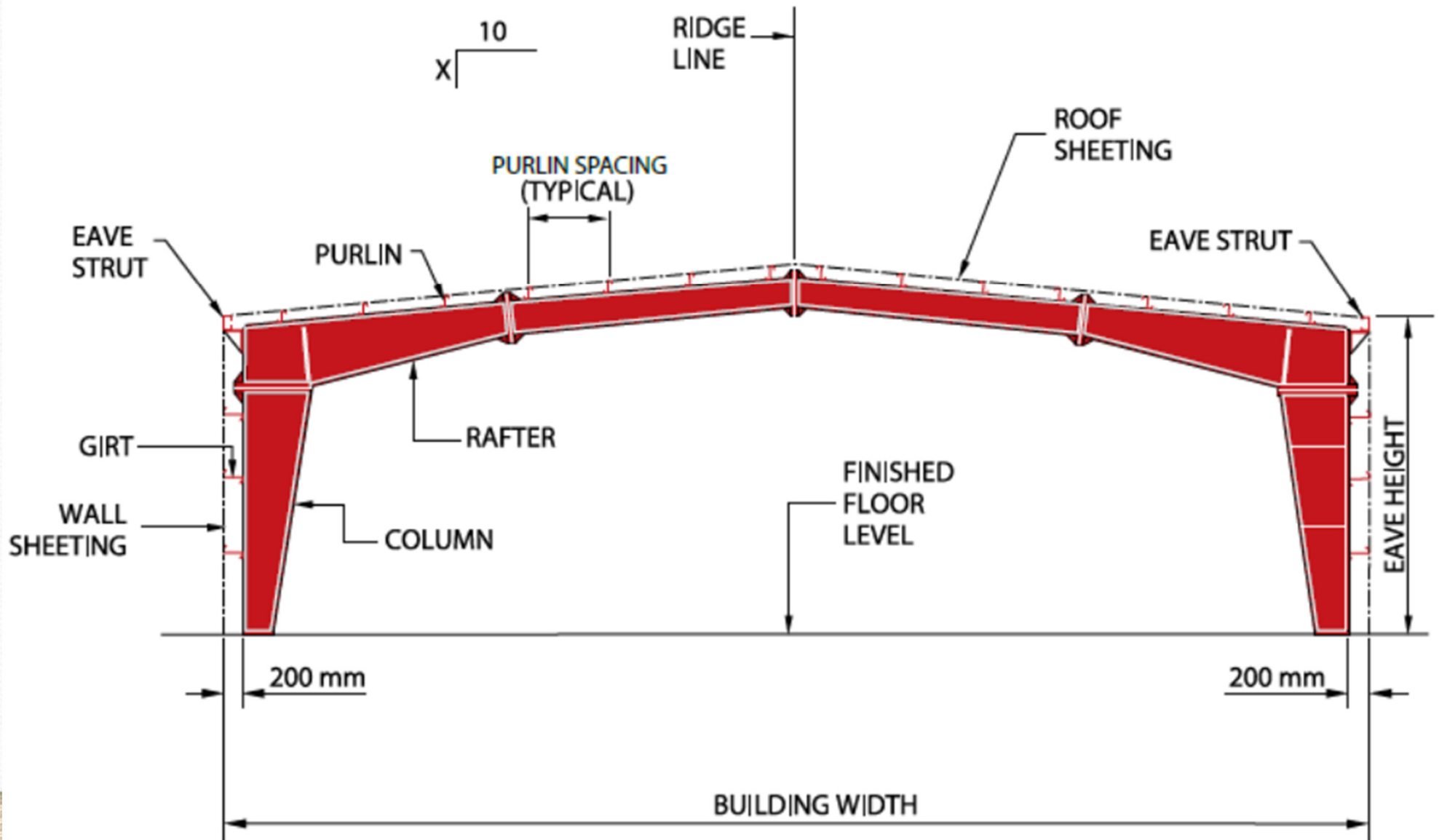
3. Space Truss



Elemen-Elemen pada Bangunan Str. Baja



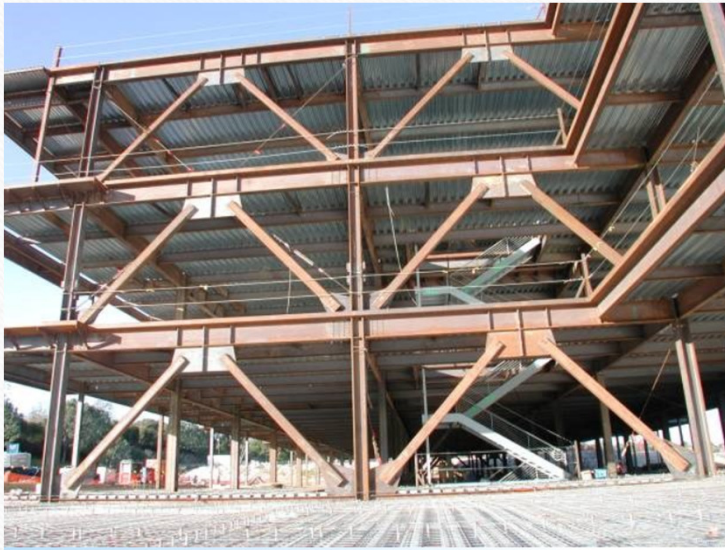
Contoh Portal Gable



Contoh Portal Baja Bangunan Industri



Contoh Portal Baja Bangunan Industri



Balok

Balok adalah komponen struktur yang memikul beban-beban gravitasi, seperti beban mati dan beban hidup. Komponen struktur balok merupakan kombinasi dari elemen tekan dan elemen tarik, sehingga konsep komponen struktur tarik dan tekan dapat dikombinasikan pada bab ini.

Perilaku elemen balok didominasi oleh momen lentur dan gaya geser, dimana besarnya bergantung dengan kondisi perletakan (*boundary condition*) pada ujung elemen tersebut. Saat memikul momen lentur, penampang balok memiliki kecenderungan untuk mengalami tekuk pada arah lateral, sehingga pemberian pengaku sangat diperlukan.

Balok

Kapasitas Lentur Balok dipengaruhi oleh:

- Sifat Bahan
- Sifat Penampang
- Panjang Bentang antara dua dukungan lateral
- Gradien Momen



Balok

Sifat Bahan dipengaruhi oleh:

- Modulus Elastisitas, E
- Tegangan Leleh, F_y
- Tegangan Residu, $f_r = 70 \text{ Mpa}$ atau $f_r = 0.3 f_y$



Balok

Sifat Penampang dipengaruhi oleh:

- Momen Inertia, I
- Potongan-potongan (Penampang)
- Jari-jari Inersia Minimum, I_x , I_y , R_x , R_y
- Ratio kelangsingan Element pelat,
 $\lambda = b/2t_f$ (flange)
 $\lambda = h/t_w$ (web)

Kegagalan Balok dapat terjadi karena:

- Kekuatan bahan terlampaui
- Karena Tekuk (Buckling)



Kolom

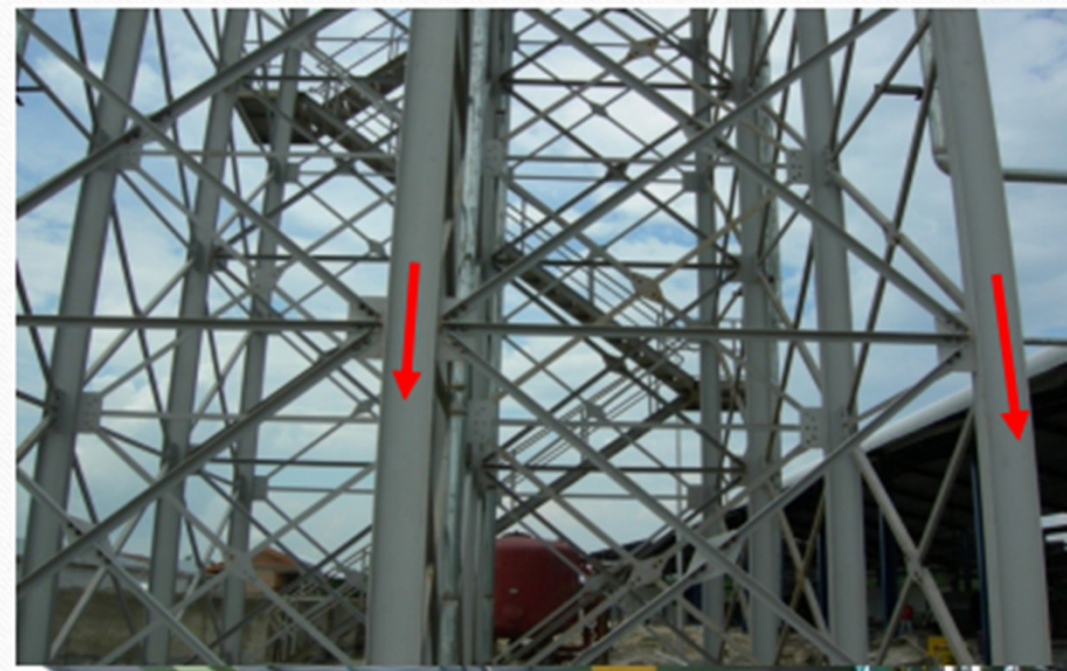
Komponen struktur tekan atau sering disebut kolom dapat terdiri dari profil tunggal atau profil tersusun yang digabung dengan menggunakan pelat kopel.

Syarat kestabilan dalam mendesain komponen struktur tekan sangat perlu diperhatikan, mengingat adanya bahaya tekuk (buckling) pada komponen-komponen tekan yang langsing.

Kolom

Komponen tekan yang Panjang akan mengalami keruntuhan elastic, sedangkan, komponen tekan yang cukup pendek dapat dibebani hingga leleh atau bahkan hingga memasuki daerah penguatan regangan. Namun, dalam kenyataannya kasus keruntuhan tekuk terjadi setelah Sebagian dari penampang melintang batang mengalami leleh. Kejadian ini dinamakan tekuk inelastic.

Kolom

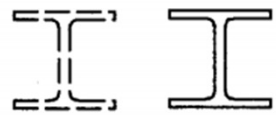


Masalah Tekuk Lokal

Jika penampang melintang suatu komponen struktur tekan tipis, maka akan ada kemungkinan timbul tekuk local. Jika tekuk local terjadi maka komponen struktur tersebut tidak akan lagi memikul beban tekan secara penuh, dan ada kemungkinan struktur mengalami keruntuhan.

SNI 1729:2015 membatasi rasio antara lebar dan ketebalan penampang struktur dan dapat diklasifikasikan menjadi penampang kompak, non kompak dan langsing. Suatu penampang yang menerima beban aksial tekan murni, kekuatannya harus direduksi jika penampang tersebut penampang yang langsing. Rasio antara lebar dengan tebal suatu elemen biasanya dinotasikan dengan symbol λ .

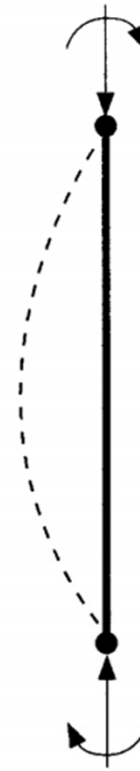
Macam-macam Tekuk Komponen Struktur Tekan



(a) Tekuk Lentur



(b) Tekuk Torsi



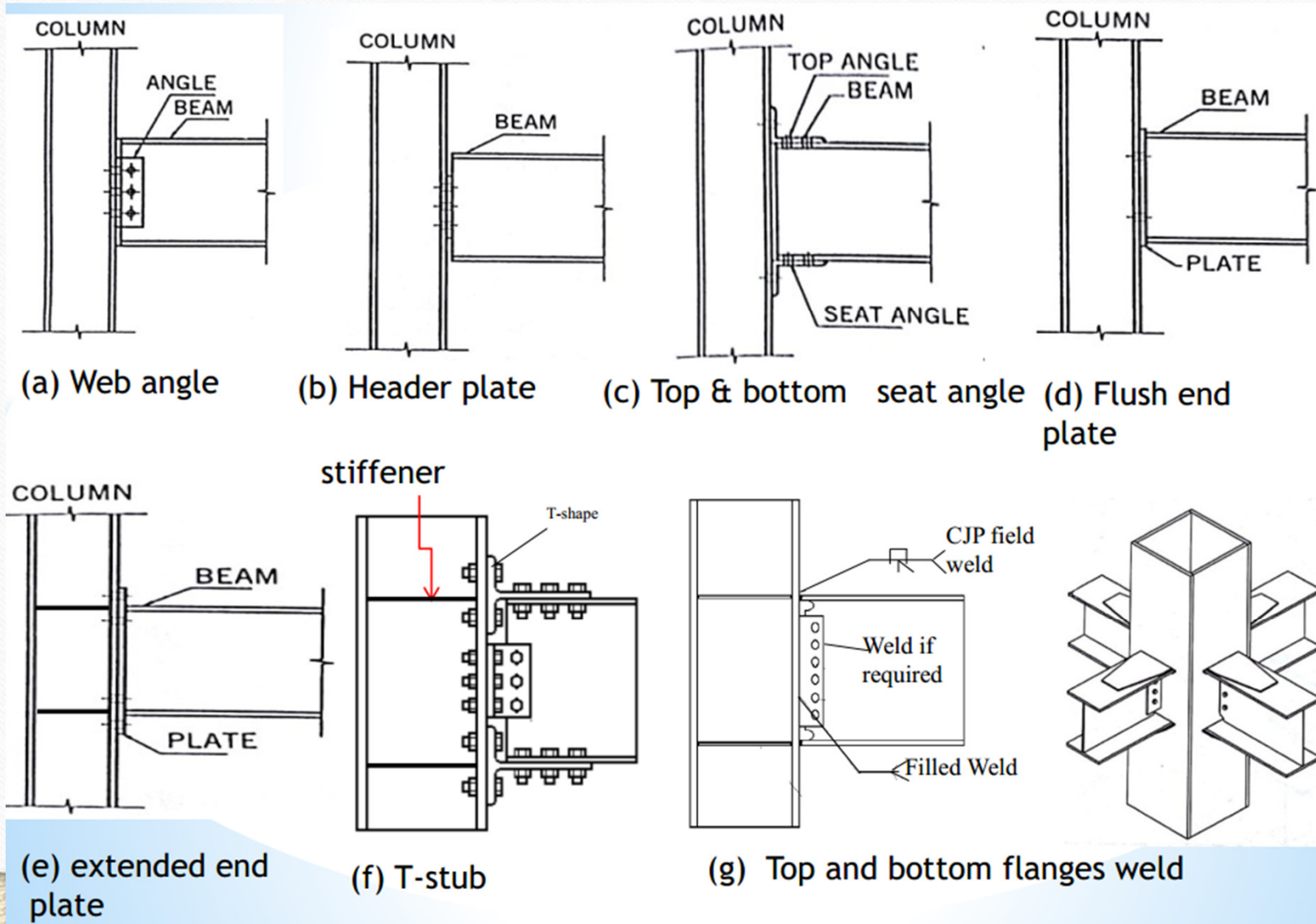
(c) Tekuk Lentur Torsi

Sambungan Str. Baja

Beberapa sambungan yang ada pada konstruksi bangunan Gedung adalah sebagai berikut:

1. Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak
2. Sambungan Balok Kolom
3. Sambungan Balok Kolom diperkaku
4. Sambungan Penahan Momen
5. Sambungan Balok Kolom dengan Pengaku
6. Sambungan Baseplate
7. Sambungan Lewatan (Splice Connection)

Macam-Macam Tipe Sambungan Str. Baja



Contoh Sambungan Str. Baja



Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 2 – Analisis Beban Portal Baja

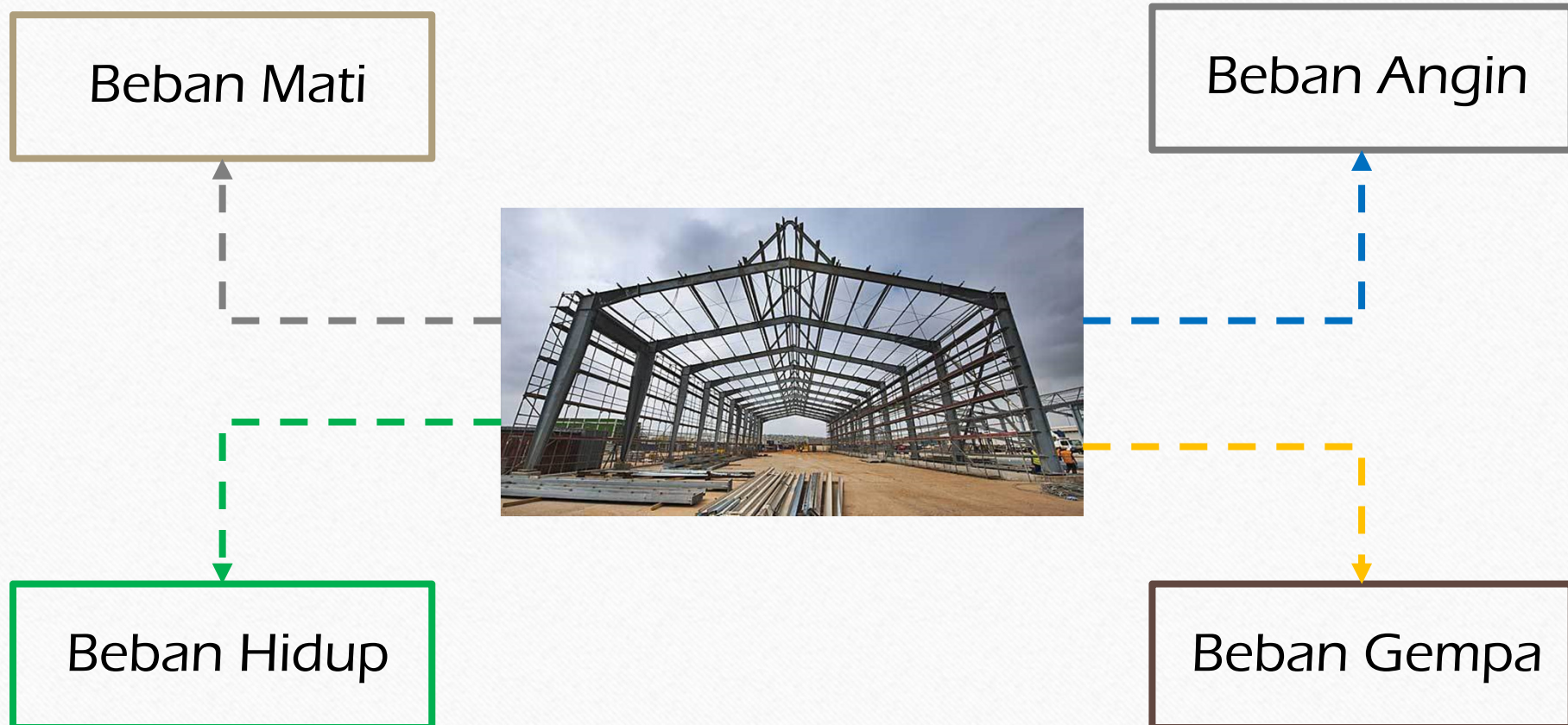
Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Analisa Beban Portal Baja

Beban-Beban yang Bekerja pada Str. Baja



Beban-Beban yang Bekerja pada Str. Baja

Beberapa jenis beban yang sering dijumpai antara lain:

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu Gedung/bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk unsur tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap.

Tabel 2.1. Berat sendiri bahan bangunan

Bahan Bangunan	Berat	Satuan
Baja	7850	kg/m ³
Beton	2200	kg/m ³
Beton bertulang	2400	kg/m ³
Kayu (kelas I)	1000	kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	kg/m ³

(Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, 1983)

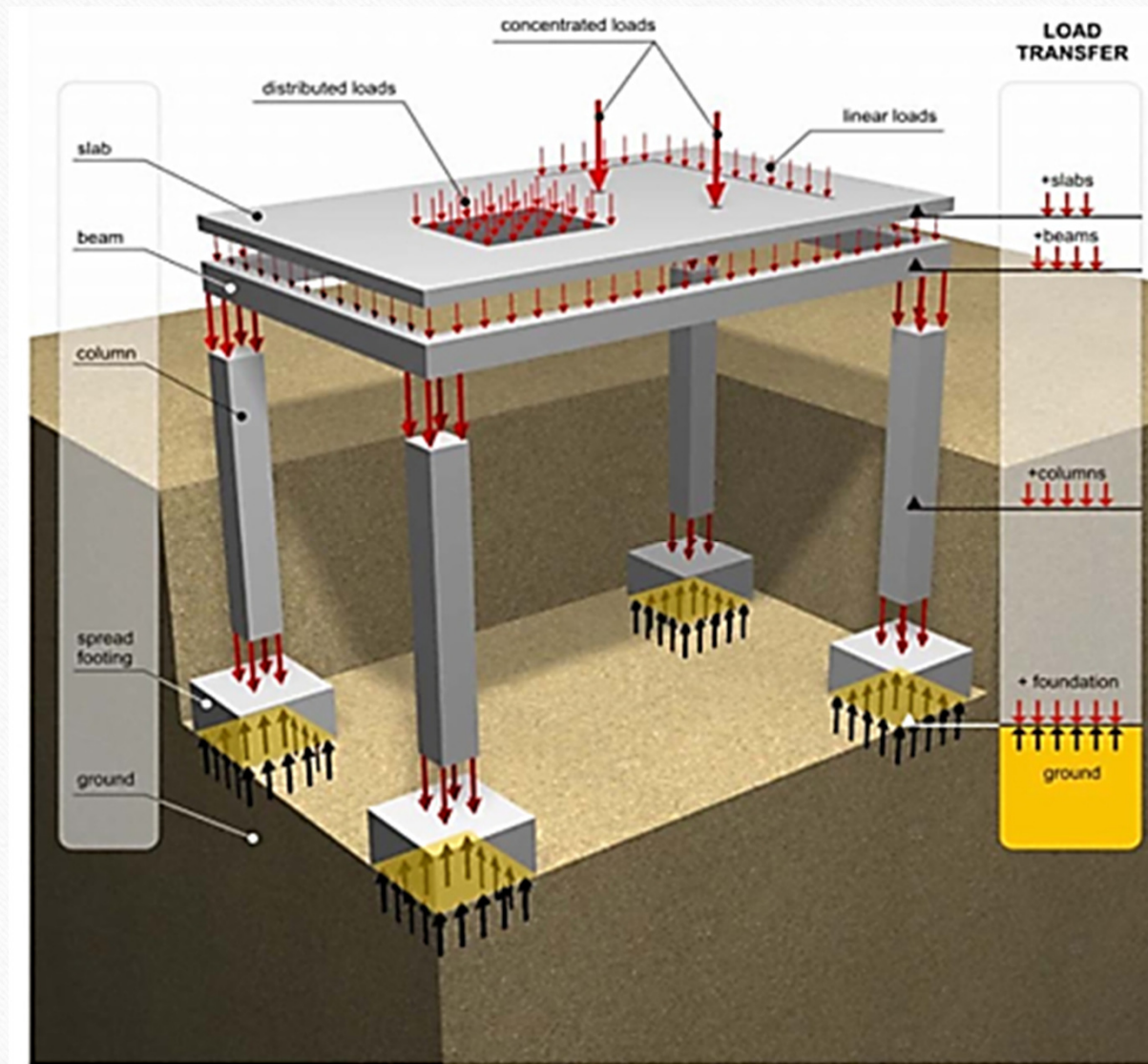
Beban Mati (Dead Load)

Tabel 2.2. Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen gedung	Berat	Satuan
Adukan, per cm tebal		
- dari semen	21	kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17	kg/m ²
Dinding pasangan bata merah		
- satu batu	450	kg/m ²
- setengah batu	250	kg/m ²
Dinding pasangan batako:		
Berlubang:		
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200	kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120	kg/m ²
Tanpa lubang		
- tebal dinding 15 cm	300	kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200	kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:		
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis) dengan tebal maksimum 4 mm	11	kg/m ²
Penggantung langit-langit (kayu)	7	kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24	kg/m ²

(Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, 1983)

Beban Mati (Dead Load)



Beban-Beban yang Bekerja pada Str. Baja

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban gravitasi yang timbul akibat penggunaan suatu Gedung selama masa layaannya. Termasuk beban manusia, perabotan yang dapat berpindah-pindah, kendaraan dan barang-barang lain. Beban hidup diatur dalam Tabel 4-1 SNI 1727:2013.

Tabel 4-1 Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2 000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2 000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79) ^a	
Lobi	100 (4,79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4,79) ^a	
Lantai podium	150 (7,18) ^a	

Beban Hidup (Live Load)



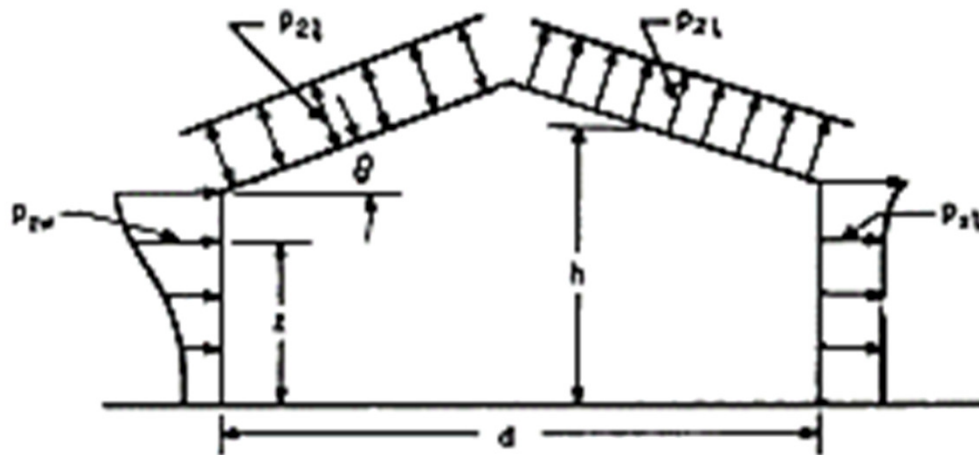
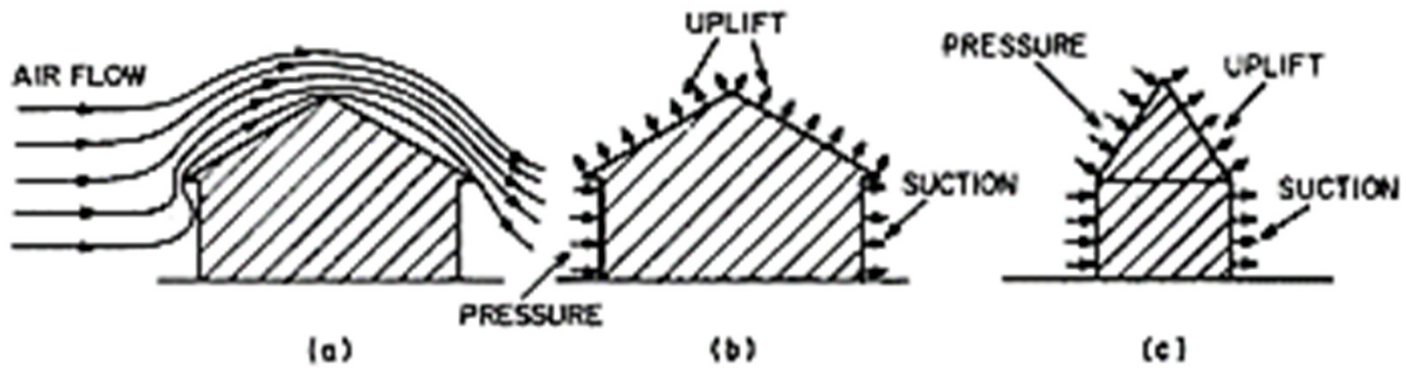
Beban-Beban yang Bekerja pada Str. Baja

3. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin adalah beban yang timbul akibat adanya tekanan dari gerakan angin. Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 26, beban angin sangat ditentukan oleh beberapa parameter dasar antara lain:

- a. Kecepatan angin dasar
- b. Faktor arah angin
- c. Kategori Eksposur
- d. Faktor Topografi
- e. Faktor Pengaruh Tiupan Angin
- f. Klasifikasi Ketertutupan
- g. Koefisien Tekanan Internal

Beban Angin (Wind Load)



Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Tabel 27.2-1 - Langkah-langkah untuk menentukan **beban angin** SPGAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian, dan terbuka dari semua ketinggian

Langkah 1: Tentukan Kategori Risiko bangunan gedung; lihat Tabel 1.5-1

Langkah 2: Tentukan kecepatan angin dasar, V , untuk kategori risiko yang sesuai yang berlaku; lihat Buku Peta Angin Indonesia.

Langkah 3: Tentukan parameter beban angin:

- Faktor arah angin, K_d ; lihat Pasal 26.6 dan Tabel 26.6-1.
- Kategori eksposur; lihat Pasal 26.7.
- Faktor topografi, K_{zt} ; lihat Pasal 26.8 dan Tabel 26.8-1.
- Faktor elevasi permukaan tanah, K_e ; Lihat Pasal 26.9
- Faktor efek hembusan angin, G , atau G_f ; lihat Pasal 26.11
- Klasifikasi ketertutupan; lihat Pasal 26.12
- Koefisien tekanan internal, (GC_{pi}) ; lihat Pasal 26.13 dan Tabel 26.13-1

Langkah 4: Tentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h ; lihat Tabel 26.10.1

Langkah 5: Tentukan tekanan velositas q_z , atau q_h Persamaan (26.10-1)

Langkah 6: Tentukan koefisien tekanan eksternal, C_p atau C_N

- Gambar 27.3.1 untuk dinding dan atap rata, pelana, perisai, miring sepihak atau *mansard*
- Gambar 27.3-2 untuk atap kubah
- Gambar 27.3-3 untuk atap lengkung
- Gambar 27.3.4 untuk atap miring sepihak, bangunan gedung terbuka
- Gambar 27.3-5 untuk atap berbubung, bangunan gedung terbuka
- Gambar 27.3.6 untuk atap cekung, bangunan gedung terbuka
- Gambar 27.3-7 untuk beban angin sepanjang bubungan kasus untuk atap miring sepihak, berbubung, atau cekung, bangunan gedung terbuka

Langkah 7: Hitung tekanan angin, p , pada setiap permukaan bangunan gedung

- Persamaan (27.3-1) untuk bangunan gedung kaku dan fleksibel
- Persamaan (27.3-2) untuk bangunan gedung terbuka

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Langka 1

Tabel 1.5-1 - Kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa*, dan es

Penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur	Kategori risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	III
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.	
Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis ^a	
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.	IV
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.	
Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis ^a .	
Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	

^aBangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap kategori risiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan suatu penilaian bahaya seperti dijelaskan dalam Pasal 1.5.3 bahwa pelepasan zat sepadan dengan risiko yang terkait dengan kategori risiko.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Tabel 1.5-2 - Faktor kepentingan berdasarkan kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban salju, es, dan gempa

Kategori risiko dari Tabel 1.5-1	Faktor keutamaan salju, i_s	Faktor keutamaan es – ketebalan, i_i	Faktor keutamaan es – angin, i_w	Faktor keutamaan seismik, i_e
I	0,80	0,80	1,00	1,00
II	1,00	1,00	1,00	1,00
III	1,10	1,15	1,00	1,25
IV	1,20	1,25	1,00	1,50

CATATAN Faktor keutamaan komponen, I_p , berlaku untuk beban gempa, tidak termasuk dalam tabel ini karena tergantung pada kepentingan dari komponen individual daripada bangunan secara keseluruhan, atau huniannya. Lihat ke Pasal 1.3.1.3.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Langka 2



Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

3.1 LEVEL I (equatorial regions—strong thunderstorms and monsoon winds)

A suitable relationship for the equatorial countries of Singapore, Malaysia, Indonesia, and Papua New Guinea is the following, which is derived from a composite analysis of 11 stations (Paragraph C1, Appendix C):

$$V_R = 70 - 56R^{-0.1} \quad \dots 1$$

Wind Speed

Serviceability design. $V=32 \text{ m/s} = 115 \text{ km/jam}$; $W= 65 \text{ kg/m}^2$.

Ultimate design. $V=39,1\text{m/s} = 140 \text{ km/jam}$; $W=95 \text{ kg/m}^2$

There is no wind map in Indonesia, based on TPKB consensus in Jakarta, wind speed can be taken by $V_s = 39.1 \text{ m/s}$ for strength design and $V_s = 32 \text{ m/s}$ for serviceability design.

HB 212-2002 Design Wind Speeds for the Asia-Pacific Region report from AS/NZS recommend to used $V_s = 32 \text{ m/s}$ for serviceability design and $V_s = 40 \text{ m/s}$ for ultimate design in Indonesia region.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Langka 3

Tabel 26.6-1 - Faktor arah angin, K_d

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

26.7.2 Kategori kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan tanah dalam setiap sektor 45° harus ditentukan untuk suatu jarak lawan angin dari situs sebagaimana ditentukan dalam Pasal 26.7.3 dari kategori yang didefinisikan dalam teks berikut, untuk tujuan menetapkan suatu kategori eksposur seperti yang didefinisikan dalam Pasal 26.7. 3.

Kekasaran Permukaan B: Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar dalam jumlah banyak.

Kekasaran Permukaan C: Dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.

Kekasaran Permukaan D: Permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air. Kategori ini termasuk hamparan lumpur halus.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

26.7.3 Kategori eksposur

Eksposur B: Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457m). Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur, pilih yang terbesar.

Eksposur C: Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau Eksposur D tidak berlaku.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Eksposur D: Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

Untuk situs yang terletak di zona transisi antara kategori eksposur, kategori dengan gaya angin terbesar harus digunakan.

PENGECUALIAN Eksposur menengah di antara kategori-kategori sebelumnya boleh digunakan di zona transisi, asalkan itu ditentukan oleh metode analisis rasional yang dijelaskan dalam literatur yang diakui.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

26.8 Efek topografi

26.8.1 Peningkatan kecepatan angin di atas bukit, bukit memanjang, dan tebing curam

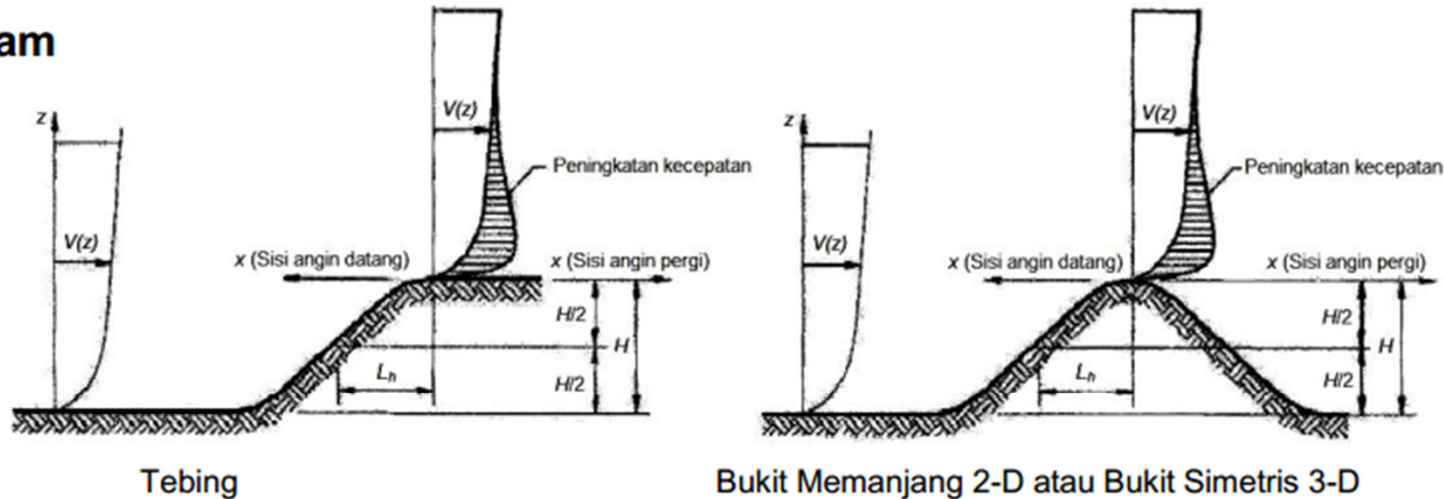
Efek peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam terisolasi yang secara umum menimbulkan perubahan mendadak pada topografi, dalam setiap kategori eksposur, harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin apabila keadaan dan lokasi situs bangunan gedung dan struktur lainnya memenuhi semua kondisi berikut:

1. Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam terisolasi dan tidak terhalang oleh topografi serupa dalam arah melawan angin dengan ketinggian yang setara untuk jarak 100 kali tinggi fitur topografi ($100H$) atau 2 mil (3,22 km), dipilih yang terkecil. Jarak ini harus diukur horizontal terhadap titik di mana tinggi H dari bukit, punggung bukit, atau tebing yang ditentukan.
2. Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam menonjol ke atas dengan faktor dua kali atau lebih terhadap ketinggian fitur dataran pada arah melawan angin dalam radius 2-mil (3,22 km) untuk setiap kuadran.
3. Bangunan atau struktur lain yang berlokasi seperti terlihat pada Gambar 26.8-1 pada setengah bagian ke atas dari bukit atau punggung bukit atau dekat puncak tebing.

4. $H/L_h \geq 0,2$

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Diagram



Pengali topografi untuk eksposur $C^{a,b,c}$

H/L_h	Pengali K_1			x/L_h	Pengali K_2		x/L_h	Pengali K_3		
	Bukit 2-D	Tebing 2-D	Bukit 3-D		Tebing 2-D	Seluruh kasus lainnya		Bukit 2-D	Tebing 2-D	Bukit 3-D
0,20	0,29	0,17	0,21	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
0,25	0,36	0,21	0,26	0,50	0,88	0,67	0,10	0,74	0,78	0,67
0,30	0,43	0,26	0,32	1,00	0,75	0,33	0,20	0,55	0,61	0,45
0,35	0,51	0,30	0,37	1,50	0,63	0,00	0,30	0,41	0,47	0,30
0,40	0,58	0,34	0,42	2,00	0,50	0,00	0,40	0,30	0,37	0,20
0,45	0,65	0,38	0,47	2,50	0,38	0,00	0,50	0,22	0,29	0,14
0,50	0,72	0,43	0,53	3,00	0,25	0,00	0,60	0,17	0,22	0,09
				3,50	0,13	0,00	0,70	0,12	0,17	0,06
				4,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,14	0,04
							0,90	0,07	0,11	0,03
							1,00	0,05	0,08	0,02
							1,50	0,01	0,02	0,00
							2,00	0,00	0,00	0,00

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

26.8.2 Faktor topografi

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (26.8-1)$$

dengan K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam Gambar 26.8-1.

Jika kondisi situs dan lokasi bangunan gedung dan struktur lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, maka $K_{zt} = 1,0$.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

26.9 Faktor elevasi permukaan tanah

Faktor elevasi permukaan tanah untuk menyesuaikan densitas udara, K_e , harus ditentukan sesuai dengan Tabel 26.9-1. Untuk semua elevasi, boleh diambil nilai $K_e = 1$.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Tabel 26.9-1 - Faktor elevasi permukaan tanah, K_e

Elevasi tanah di atas permukaan laut (<i>Sea Level</i>)		Faktor elevasi permukaan tanah
Ft	m	K_e
< 0	< 0	Lihat catatan 2
0	0	1,00
1.000	305	0,96
2.000	610	0,93
3.000	914	0,90
4.000	1.219	0,86
5.000	1.524	0,83
6.000	1.829	0,80
> 6.000	>1.829	Lihat catatan 2

CATATAN

1. Perkiraan konservatif, boleh diambil $K_e = 1,00$ dalam semua kasus.
2. Faktor K_e harus ditentukan dari tabel di atas dengan menggunakan interpolasi atau dari rumus berikut untuk semua elevasi:

$$K_e = e^{-0,0000362z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam ft}).$$

$$K_e = e^{-0,000119z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam m}).$$

3. Dalam semua kasus K_e boleh diambil sebesar 1,00.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Catatan

1. Koefisien eksposur tekanan kecepatan K_z dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$\text{Untuk } 15 \text{ ft (4,6 m)} \leq z \leq z_g \quad K_z = 2,01 \left(z/z_g \right)^{2/\alpha}$$

$$\text{Untuk } z < 15 \text{ ft (4,6 m)} \quad K_z = 2,01 \left(15/z_g \right)^{2/\alpha}$$

2. α dan z_g ditabulasi dalam Tabel 26.11-1.

3. Interpolasi linier untuk nilai menengah dari tinggi z boleh dilakukan.

4. Kategori eksposur didefinisikan pada Pasal 26.7.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

26.11 Efek hembusan angin

26.11.1 Faktor efek hembusan angin

Faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

Klasifikasi Ketertutupan

Tabel 26.13-1 - Sistem penahan gaya angin utama dan komponen dan klading (semua ketinggian): koefisien tekanan internal, (GC_{pi}), untuk bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian, dan bangunan terbuka (dinding dan atap)

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan internal	Koefisien tekanan internal, (GC_{pi})
Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau 4 ft^2 ($0,37 \text{ m}^2$) dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01A_g$ atau 4 ft^2 ($0,37 \text{ m}^2$) dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	- 0,55 - 0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80 %	Diabaikan	0,00

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Langka 4

Tabel 26.10-1 - Koefisien eksposur tekanan kecepatan, K_h dan K_z

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur			
ft	m	B	C	D	
0 – 15	0 – 4,6	0,57 (0,70) ^a	0,85	1,03	
20	6,1	0,62 (0,70) ^a	0,90	1,08	
25	7,6	0,66 (0,70) ^a	0,94	1,12	
30	9,1	0,70	0,98	1,16	
40	12,2	0,76	1,04	1,12	
50	15,2	0,81	1,09	1,27	
60	18,0	0,85	1,13	1,31	
70	21,3	0,89	1,17	1,34	
80	24,4	0,93	1,21	1,38	
90	27,4	0,96	1,24	1,40	
100	30,5	0,99	1,26	1,43	
120	36,6	1,04	1,31	1,48	
140	42,7	1,09	1,36	1,52	
160	48,8	1,13	1,39	1,55	
180	54,9	1,17	1,43	1,58	
200	61,0	1,20	1,46	1,61	
250	76,2	1,28	1,53	1,68	
300	91,4	1,35	1,59	1,73	
350	106,7	1,41	1,64	1,78	
400	121,9	1,47	1,69	1,82	
450	137,2	1,52	1,73	1,86	
500	152,4	1,56	1,77	1,89	

^aGunakan 0,70 pada Pasal 28, Eksposur B, apabila $z < 30$ ft (9,1 m).

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Langka 5

26.10.2 Tekanan kecepatan

Tekanan kecepatan, q_z , yang dievaluasi pada ketinggian z di atas tanah harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_z = 0,00256K_zK_{zt}K_dK_eV^2 \text{ (lb/ft}^2\text{); } V \text{ dalam mi/h} \quad (26.10-1)$$

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dK_eV^2 \text{ (N/m}^2\text{); } V \text{ dalam m/s} \quad (26.10-1.si)$$

dengan

K_z = koefisien eksposur tekanan kecepatan, lihat Pasal 26.10.1.

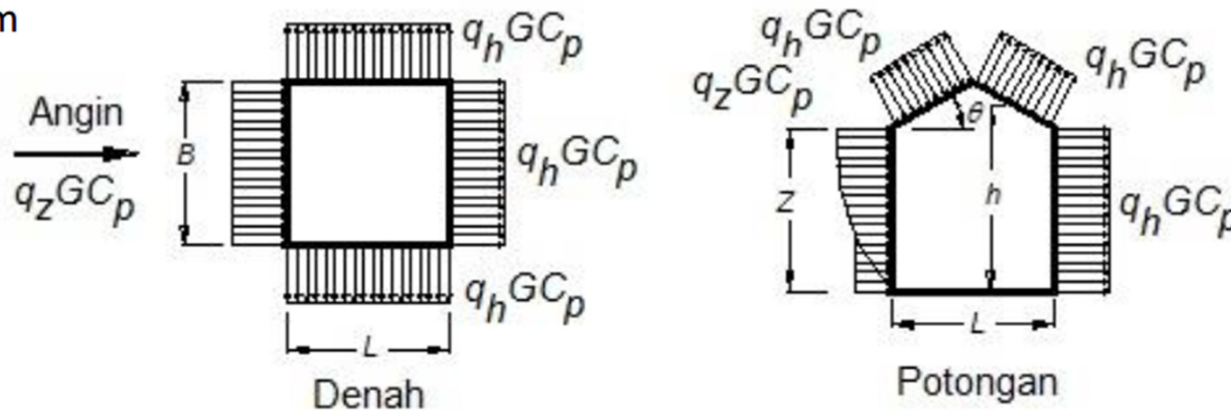
K_{zt} = faktor topografi, lihat Pasal 26.8.2.

K_d = faktor arah angin, lihat Pasal 26.6.

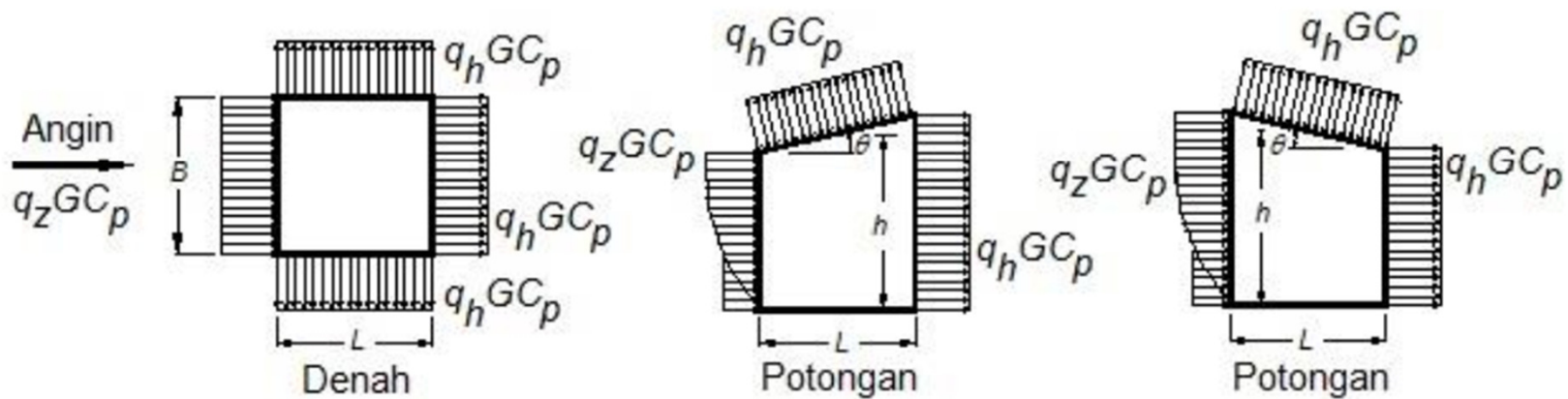
Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Langka 6

Diagram

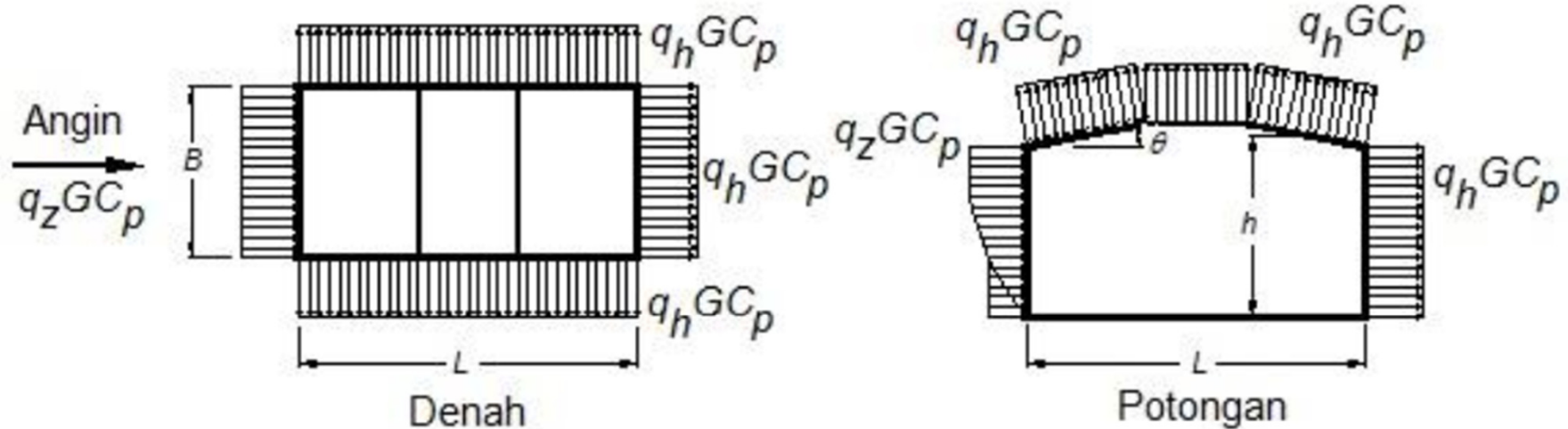


Atap pelana, atap perisai



Atap miring sepihak (CATATAN 4)

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013



Atap mansard [CATATAN 7]

Notasi

- B = dimensi horizontal bangunan gedung, diukur tegak lurus terhadap arah angin, dalam ft (m)
- L = dimensi horizontal bangunan gedung, diukur paralel terhadap arah angin, dalam ft (m)
- h = tinggi atap rata-rata, dalam ft (m), tinggi ujung bawah atap harus digunakan jika $\theta \leq 10$ derajat
- z = tinggi di atas tanah, dalam ft (m)
- G = faktor pengaruh hembusan angin
- q_z, q_h = tekanan kecepatan, dalam lb/ft^2 (N/m^2), dievaluasi pada ketinggian masing-masing.
- θ = sudut bidang atap dari horizontal, dalam derajat.

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Koefisien tekanan dinding, C_p

Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0 – 1	- 0,5	q_h
Dinding di sisi angin pergi	2	- 0,3	q_h
	≥ 4	- 0,2	q_h
	Seluruh nilai	- 0,7	q_h
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	q_h

Koefisien tekanan atap, C_p , untuk digunakan dengan q_h

Arah Angin	h/L	Di sisi angin datang								Di sisi angin pergi				
		Sudut, θ (derajat)								Sudut, θ (derajat)				
		10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^c$	10	15	≥ 20		
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^0$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0 ^a							
		-0,18	0,0 ^a	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,010	- 0,3	- 0,5	- 0,6		
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0 ^a						
		-0,18	-0,18	0,0 ^a	0,2	0,2	0,3	0,4	0,010	- 0,5	- 0,5	- 0,6		
$\geq 1,0$	-1,3 ^b	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0 ^a							
		-0,18	-0,18	-0,18	0,0 ^a	0,2	0,2	0,4	0,010	- 0,7	- 0,6	- 0,6		

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

Langka 7

27.3 Beban angin: Sistem Penahan Gaya Angin Utama

27.3.1 Bangunan gedung tertutup, kaku tertutup sebagian dan fleksibel

Tekanan angin desain untuk SPGAU bangunan gedung pada semua ketinggian dalam lb/ft^2 (N/m^2) harus ditentukan oleh persamaan berikut:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (27.3-1)$$

Perhitungan Beban Angin berdasarkan SNI 1727:2013

dengan

- q = q_z untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z di atas permukaan tanah
- q = q_h untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping, dan atap yang diukur pada ketinggian h
- q_i = q_h untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bangunan gedung tertutup, dan untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian.
- q_i = q_z untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif. Untuk bangunan gedung yang terletak di wilayah puing terbawa angin, kaca yang tidak tahan impak atau dilindungi dengan penutup tahan impak, harus diperlakukan sebagai bukaan sesuai dengan Pasal 26.12.3. Untuk menghitung tekanan internal positif, q_i secara konservatif boleh dihitung pada ketinggian h ($q_i = q_h$)
- G = faktor efek-hembusan angin, lihat Pasal 26.11. Untuk bangunan gedung fleksibel, G_f yang ditentukan menurut Pasal 26.11.5 harus menggantikan G .
- C_p = koefisien tekanan eksternal dari Gambar 27.3-1, 27.3-2 dan 27.3-3
- (GC_{pi}) = koefisien tekanan internal dari Tabel 26.13-1

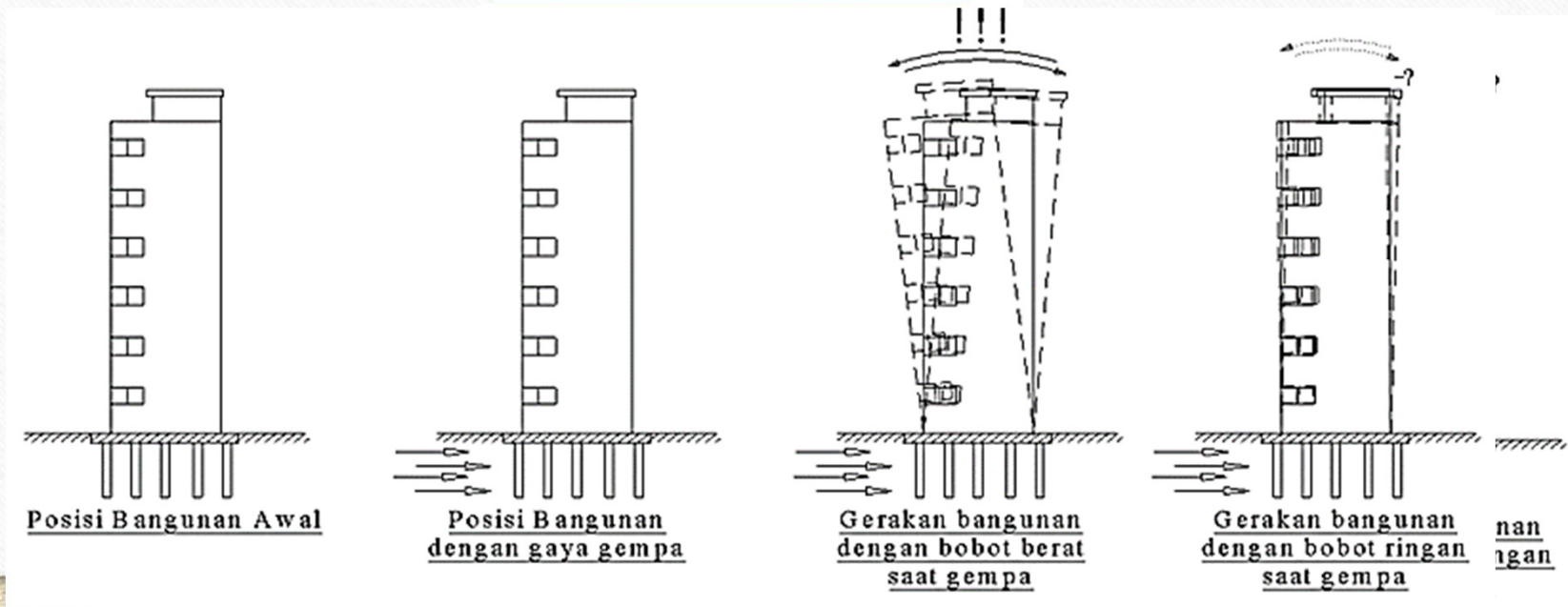
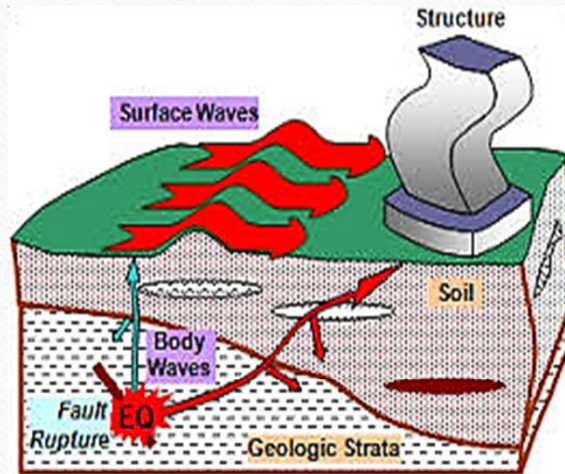
Beban-Beban yang Bekerja pada Str. Baja

4. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa adalah beban yang timbul sebagai akibat adanya gerakan tanah oleh gempa bumi yang bekerja dalam arah horizontal maupun vertikal pada struktur. Berdasarkan SNI 1726:2012, beban gempa ditentukan oleh beberapa parameter dasar antara lain:

- a. Zonasi Gempa
- b. Kategori Risiko dan Faktor keutamaan.
- c. Jenis Tanah
- d. Kategori Desain Seismik (KDS)
- e. Respon Spektrum Desain.
- f. Periode Struktur.
- g. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*).

Beban Gempa (Earthquake Load)



Desain Str. Baja Menggunakan Metode LRFD

Secara umum, suatu struktur dikatakan aman apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$R_u \leq \phi \cdot R_n$$

Dengan:

ϕ = factor reduksi kekuatan

R_u = total beban terfaktor

R_n = tahanan nominal komponen struktur

Kombinasi Beban Berdasarkan Metode LRFD

Dalam desain LRFD dapat dilihat bahwa tahanan rencana harus melebihi jumlah dari beban-beban kerja dikalikan dengan suatu faktor beban atau sering disebut sebagai kombinasi beban. Berdasarkan SNI 1729:2015, perencanaan struktur baja harus memenuhi kombinasi beban sebagai berikut:

1. $1.4D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } R)$
3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$
4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } R)$
5. $0.9D + 1.0W$
6. $1.2D + 1.0(E_v + E_h) + L$
7. $0.9D + 1.0(E_h - E_v)$

Faktor Tahan Berdasarkan Metode LRFD

Faktor Tahanan dalam perencanaan struktur berdasarkan metode LRFD ditentukan sebagai berikut:

- | | |
|--|---------------|
| a. Komponen struktur yang memikul lentur | $\phi = 0,9$ |
| b. Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial | $\phi = 0,85$ |
| c. Komponen struktur yang memikul gaya tarik | |
| • Terhadap kuat tarik leleh | $\phi = 0,9$ |
| • Terhadap kuat tarik fraktur | $\phi = 0,75$ |
| d. Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial dan lentur | $\phi = 0,85$ |
| e. Sambungan Baut | $\phi = 0,75$ |
| f. Sambungan Las | |
| • Las tumpul penetrasi penuh | $\phi = 0,9$ |
| • Las sudut, las tumpul penetrasi Sebagian, las pengisi | $\phi = 0,75$ |

Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 3 – Komponen Struktur Komposit Bagian 1

Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



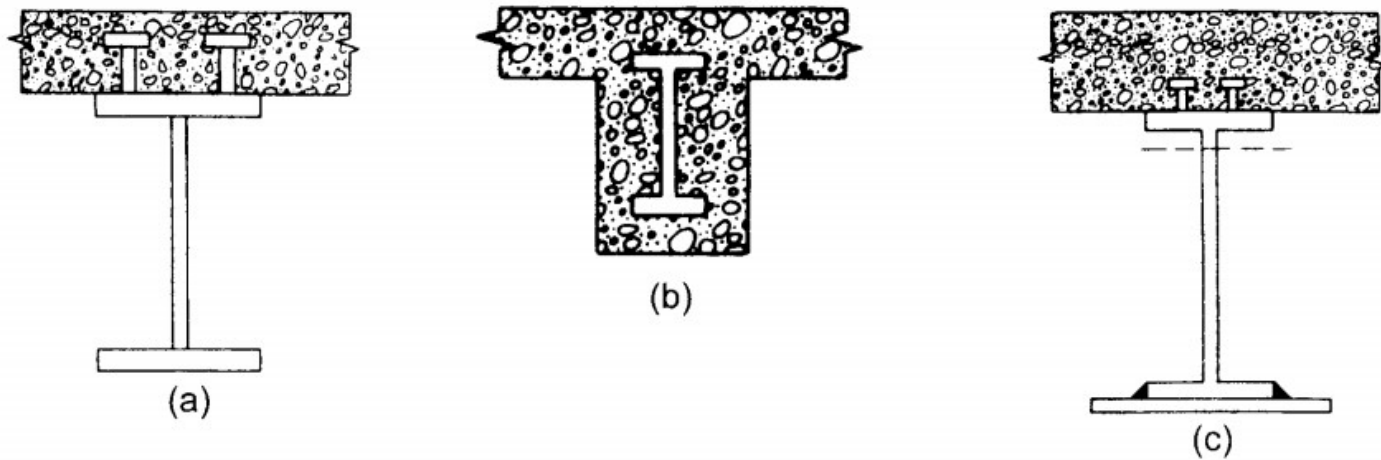
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Pendahuluan

Pendahuluan

Penggunaan balok baja untuk menopang suatu pelat beton telah ditemukan sejak lama, Namun pada saat itu pelat beton dan balok baja tidak dihubungkan dengan suatu penghubung geser sehingga yang dihasilkan adalah suatu penampang non komposit. Pada penampang non komposit, pealt beton akan mengalami lendutan yang cukup besar yang disebabkan oleh besarnya beban yang harus dipikul oleh pelat beton sendiri. Seiring berkembangnya metode pengelasan yang baik serta ditemukannya alat alat penghubung geser yang menahan gaya geser horizontal, maka lendutan antara pelat beton dan balok baja dapat ditingkatkan. Pada Akhirnya kedua material ini (Baja dan beton) akan menjadi satu kesatuan komponen struktur yang disebut dengan "**Komponen Struktur Komposit**".

Pendahuluan



Gambar 12.1 (a) Lantai Jembatan Komposit dengan Penghubung Geser, (b) Balok Baja yang Diselubungi Beton, (c) Lantai Komposit Gedung dengan Penghubung Geser

Pendahuluan

Pada awal tahun 1960 mulai dikembangkan pula penggunaan komponen struktur komposit untuk bangunan gedung yang menganut pada spesifikasi yang dikeluarkan oleh AISC (*American Institute of Steel Construction*) pada tahun 1952. Komponen struktur komposit yang digunakan dapat berupa balok baja yang diselubungi dengan beton (Gambar 12.1.b) atau berupa balok baja yang menopang pelat beton tanpa penghubung geser (Gambar 12.1.c). Namun sekarang struktur balok baja yang diselubungi dengan beton sudah jarang digunakan, dan hampir seluruh struktur komposit untuk bangunan gedung mempunyai penampang seperti pada Gambar 12.1.c.

Pendahuluan

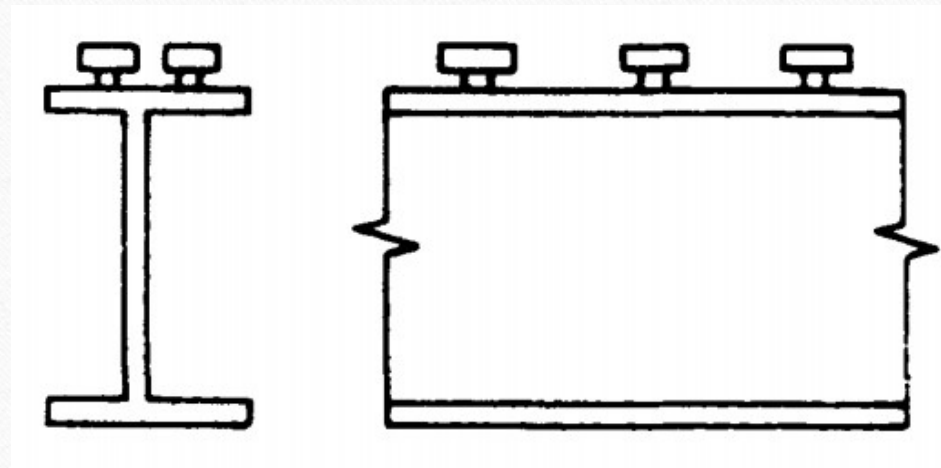
Perilaku komposit hanya akan terjadi jika potensi terjadinya slip antara kedua material ini dapat dicegah. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa hal ini dapat teratasi jika gaya geser horizontal pada kedua permukaan baja dan beton dapat ditahan dengan menggunakan penghubung geser. Tipe-tipe penghubung geser yang sering digunakan dapat berupa stud, baja tulangan spiral, atau profil kanal kecil yang pendek. Penghubung geser ini selanjutnya dihubungkan pada bagian flens atas balok dengan jarak tertentu dan akan memberikan sambungan secara mekanik melalui mekanisme pengangkuran dalam beton yang telah mengeras. Penghubung geser tipe stud paling banyak digunakan, dan lebih dari satu buah stud dapat dipasangkan pada tiap lokasi, jika lebar flens memungkinkannya. Di samping itu pemasangan stud juga relatif lebih mudah dan hanya membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah yang sedikit.

Pendahuluan

Sejumlah penghubung geser diperlukan untuk membuat sebuah balok dapat berfungsi komposit secara penuh. Namun terkadang jumlah penghubung geser dapat dipasang lebih sedikit daripada yang diperlukan untuk menimbulkan perilaku komposit penuh, hal ini akan mengakibatkan terjadinya slip antara baja dan beton; balok seperti ini dikatakan mengalami aksi komposit parsial.

Seiring dengan perkembangan teknologi, mulai ditemukan pula pelat baja gelombang yang digunakan dalam pembuatan struktur pelat komposit dan terbuat dari bahan yang mempunyai tegangan tarik tinggi serta dilapisi bahan anti karat. Pelat baja gelombang ini mempunyai dua fungsi yaitu sebagai bekisting tetap dan sebagai penulangan positif satu arah pada lantai beton bangunan Gedung bertingkat.

Pendahuluan



Pelat Lantai Komposit dengan Pelat Gelombang

Pendahuluan

Arah gelombang (*rib*) dari pelat baja ini dapat diletakkan dalam arah tegak lurus atau sejajar terhadap balok. Namun pada sistem pelat lantai komposit, umumnya arah rib diletakkan tegak lurus terhadap balok lantai dan sejajar dengan arah balok induk.

Dengan menggunakan konstruksi komposit dalam desain suatu komponen struktur ternyata dapat diperoleh beberapa keuntungan sebagai berikut:

- a. Dapat mereduksi berat profil baja yang dipakai
- b. Tinggi profil baja yang dipakai dapat dikurangi
- c. Meningkatkan kekakuan lantai
- d. Dapat menambah Panjang bentang layan

Pendahuluan

Reduksi berat sekitar 20-30% dapat diperoleh dengan memanfaatkan perilaku sistem, komposit penuh. Dengan adanya reduksi berat ini maka secara langsung juga dapat mengurangi tinggi profil baja yang dipakai. Berkurangnya tinggi profil baja yang dipakai akan mengakibatkan berkurangnya tinggi bangunan secara keseluruhan, dan membawa dampak pula berupa pernghematan material bangunan, terutama untuk dinding luar dan tangga.

Pendahuluan

Kekakuan dari pelat lantai komposit pada dasarnya lebih besar daripada kekakuan pelat beton dan balok baja yang beraksi non komposit. Secara normal pelat beton berperilaku sebagai pelat satu arah yang membentang diantara balok-balok penopang, Dalam desain komposit, momen inersia balok akan bertambah sehingga kekakuan pelat lantai akan meningkat. Meningkatnya kekakuan ini memberikan beberapa keuntungan dalam pelaksanaan konstruksi, antara lain bahwa lendutan akibat beban hidup akan berkurang dan penggunaan perancah selama proses konstruksi struktur komposit akan mampu mengurangi lendutan akibat beban mati.

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

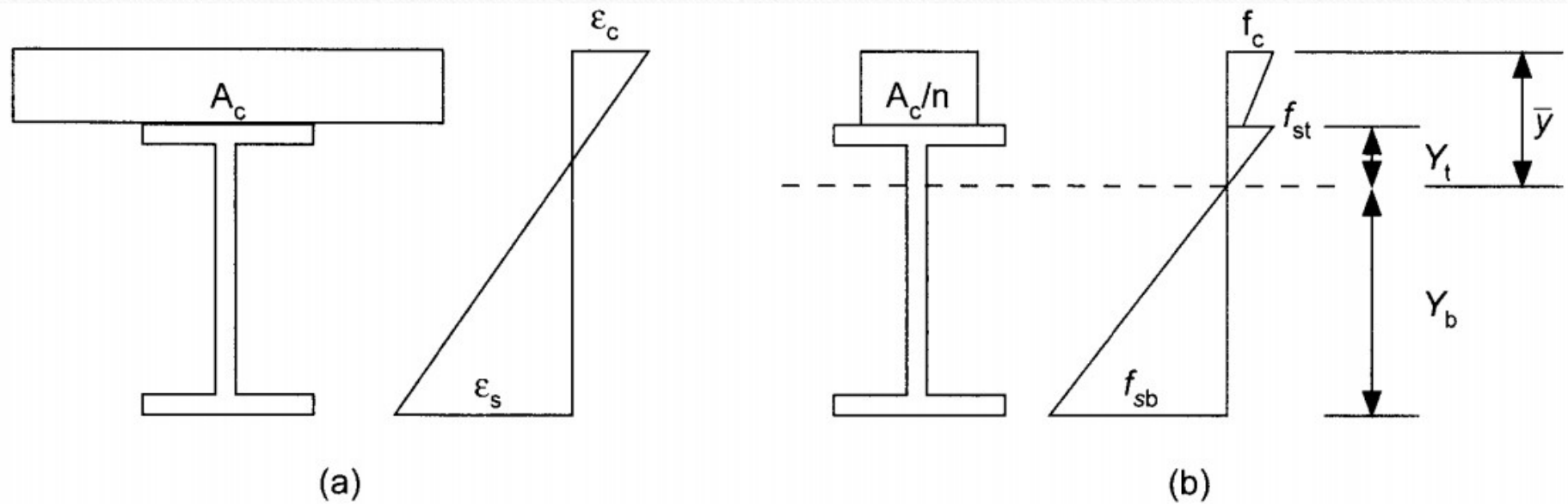
Kuat rencana dari balok komposit biasanya didasarkan pada kondisi saat terjadi keruntuhan, namun perilaku balok komposit pada saat beban layan merupakan salah satu hal penting yang harus dipahami. Lendutan harus selalu dikontrol pada saat beban layan, dan dalam beberapa kasus kuat rencana bisa ditentukan oleh syarat kemampuan.

Tegangan lentur dan geser dalam balok homogen dapat dihitung berdasarkan formula:

$$f_b = \frac{M \cdot c}{I} \text{ dan } f_v = \frac{VQ}{I \cdot t} \quad 12.1$$

Balok komposit bukan merupakan suatu balok homogen, sehingga persamaan di atas tidak dapat digunakan. Untuk dapat menghitung tegangan-tegangan pada suatu penampang komposit, diperlukan transformasi penampang. Umumnya penampang beton

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit



Gambar 12.3 (a) Diagram Regangan Balok Komposit, (b) Diagram Tegangan pada Balok Komposit dengan Penampang Tertransformasi

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

diagram regangan akan mempunyai bentuk seperti pada gambar tersebut. Hal ini sesuai dengan teori lendutan kecil, yang menyatakan bahwa penampang melintang akan tetap datar sebelum atau sesudah terjadi lentur. Namun, distribusi tegangan linear seperti dalam gambar hanya tepat untuk balok yang homogen. Hubungan antara tegangan dan regangan baja dan beton dapat dinyatakan sebagai:

$$\epsilon_c = \epsilon_s \quad \text{atau} \quad \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s} \quad 12.2$$

$$\text{atau} \quad f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n f_c \quad 12.3$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton

n = E_s/E_c = rasio modulus

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

Modulus elastisitas beton diberikan dalam SNI pasal 12.3.2:

$$E_c = 0,041w^{1,5}\sqrt{f'_c}$$

12.4

Dengan w adalah berat jenis beton (2400 kg/m³)

f'_c adalah kuat tekan beton berumur 28 hari (MPa)

Berat jenis beton normal dapat diambil sebesar 2400 kg/m³.

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

Perhatikan penampang komposit yang ditunjukkan dalam Gambar 12.3 (tata cara perhitungan lebar efektif balok komposit akan dijelaskan kemudian). Untuk mentransformasi luas beton, A_c , maka lebar efektif pelat beton dapat dibagi dengan dengan n , sedangkan tebal beton tidak perlu diubah. Hasil proses transformasi ini ditunjukkan dalam Gambar 12.3.b. Untuk menghitung tegangan, maka harus dihitung terlebih dahulu letak garis netral dan momen inersia dari penampang tersebut. Sehingga selanjutnya dapat dihitung besarnya tegangan lentur pada bagian atas dan bawah profil baja, dengan menggunakan persamaan:

$$f_{st} = \frac{M \cdot y_t}{I_{tr}} \quad 12.5$$

$$f_{sb} = \frac{M \cdot y_b}{I_{tr}} \quad 12.6$$

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

dengan:

M adalah momen lentur yang harus dipikul

I_{tr} adalah momen inersia terhadap sumbu netral

y_t adalah jarak dari sumbu netral ke serat atas profil baja

y_b adalah jarak dari sumbu netral ke serat bawah profil baja

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

Tegangan yang terjadi pada serat atas beton dihitung berdasarkan persamaan

$$f_c = \frac{M \cdot \bar{y}}{n \cdot I_{tr}}$$

12.7

Prosedur ini hanya tepat untuk momen lentur positif, dengan serat atas penampang komposit berada dalam tekan, sedangkan untuk momen lentur negatif akan mengakibatkan beton berada dalam kondisi tarik, padahal tegangan tarik beton sangat kecil sehingga tidak dapat menahan tegangan tarik yang terjadi.

Lebar Efektif Pelat

Lebar Efektif Pelat Lantai

Sistem lantai beton bertulang yang bertumpu di atas balok baja profil I, umumnya berperilaku sebagai sistem "**Pelat Satu Arah**". Jarak bentang pelat atau **b**, adalah jarak dari as-ke-as balok-balok yang saling sejajar yang digunakan sebagai tumpuan pelat tersebut.

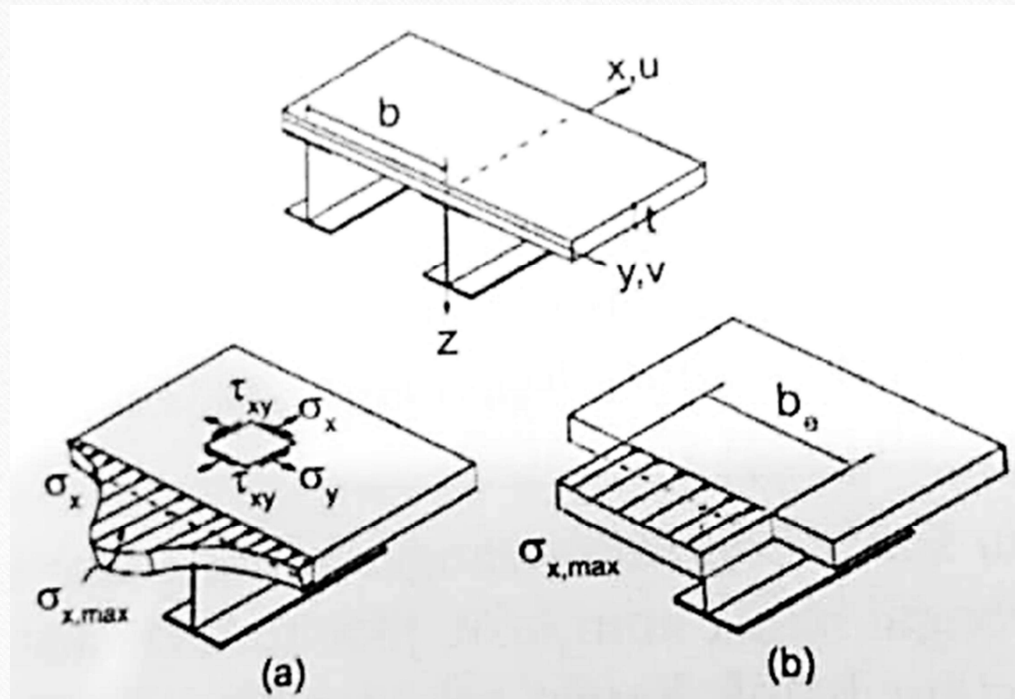
Jika pada pelat sayap balok profil I dipasang shear stud atau shear connector sehingga tertanam pada pelat beton bertulang secara memadai, maka pelat beton bagian atas, dan baja profil I dibagian bawahnya, dapat bekerja menjadi satu kesatuan sebagai balok komposit. Terhadap momen positif, momen kopel gaya tekan akan dipikul oleh beton dan kopel gaya tarik akan dipikul baja.

Lebar Efektif Pelat Lantai

Mempelajari perilaku pealt beton yang menerima gaya tekan, hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tarik tidak merata sepanjang pelat tersebut. Bagian pealt beton menempel pada profil baja mengalami kondisi tegangan tekan paling besar, dan semakin ke tengah bentang tegangannya semakin kecil **(Lihat Gambar 3.1a)**.

Untuk keperluan perencanaan, menghitung besarnya kopel tekan di pealt beton, maka bentuk distribusi tegangan disederhanakan menjadi bentuk linier. Tegangan maksimum masih sama, tetapi lebar pelat di perkecil, dianggap sebagai lebar lebar pelat efektif yang memikul tegangan tekan atau *be* **(Lihat Gambar 3.1b)**.

Lebar Efektif Pelat Lantai



Gambar 3.1 Lebar Efektif Pelat sebagai Elemen Tekan

Lebar Efektif Pelat Lantai

Untuk menentukan **lebar pelat efektif, b_e** , dari balok komposit maka perlu diketahui bentang pelat atau **jarak antar balok, b** , dan **bentang balok, L** itu sendiri. Berdasarkan ketentuan AISC 2010, lebar efektif pelat beton ada **jumlah kumulatif lebar efektif untuk tiap sisi pelat** terhadap garis as balok, yang besarnya adalah nilai terkecil dari ketentuan berikut:

- **$0.125L$** dihitung dari jarak as-ke-as tumpuan balok
- **$0.5b$** dihitung dari jarak as-ke-as balok sisi terpendeknya.
- Jarak as balok ke tepi luar pelat.

Ketentuan diatas berlaku untuk pelat lantai dengan panjang bentang tiap sisi balok terdekatnya berbeda-beda.

Lebar Efektif Pelat Lantai

Untuk balok yang ditempatkan secara seragam, atau berjarak sama ditiap sisinya, maka lebar pelat efektif dapat dihitung berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan berikut:

- **0.25L** dihitung dari jarak as-ke-as tumpuan balok
- **b** yaitu jarak as-ke-as balok-balok pendukung pelat.
- **0.5b** + jarak dari as balok ke tepi luar pelat beton.

Ketentuan **be** atau lebar efektif untuk digunakan pada pelat desak, yang terjadi pada bagian lapangan akibat momen positif. Untuk tumpuan yang menerima **momen negatif** maka lebar efektif tersebut **tidak berlaku**.

Lebar Efektif Pelat Lantai

Konsep lebar efektif sangat berguna dalam proses desain suatu komponen struktur (komposit), terutama ketika proses desain harus dilakukan terhadap suatu elemen yang mengalami distribusi tegangan yang tidak seragam. Besarnya lebar efektif dari suatu komponen struktur komposit dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk balok-balok interior:

$$b_E \leq \frac{L}{4} \quad 12.8$$

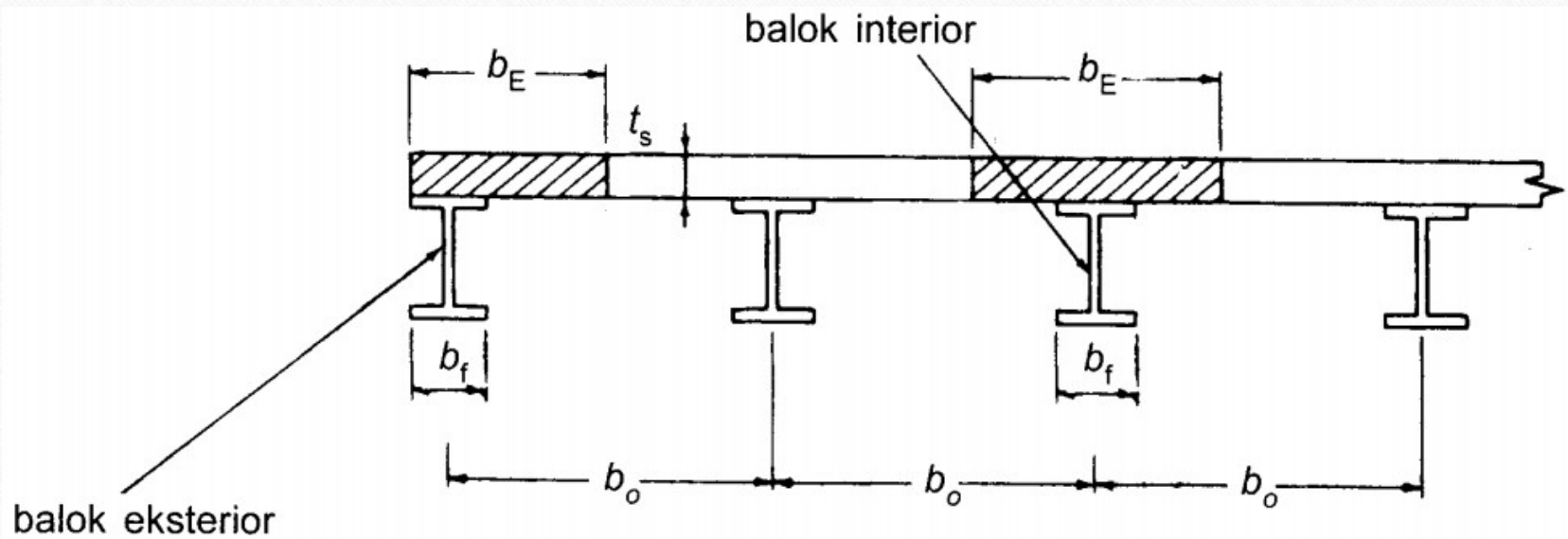
$$b_E \leq b_0 \quad 12.9$$

2. Untuk balok-balok eksterior:

$$b_E \leq \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad 12.10$$

$$b_E \leq \frac{1}{2} b_0 + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad 12.11$$

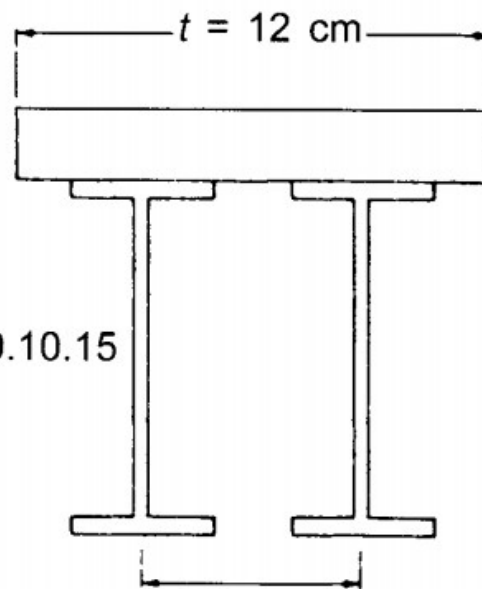
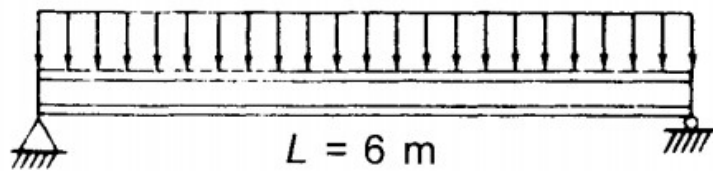
Lebar Efektif Pelat Lantai



Gambar 12.4 Lebar Efektif Balok Komposit

Contoh Soal 1

Hitunglah momen inersia (I) dan modulus tampang (S) untuk penampang komposit berikut ini, jika diketahui mutu beton untuk pelat adalah $f'_c = 25$ MPa.



WF 300.300.10.15

Penyelesaian

JAWAB:

Lebar efektif pelat beton diambil nilai terkecil dari:

$$\left. \begin{array}{l} b_E = L/4 = 600/4 = 150 \text{ cm} \\ b_E = b_o = 300 \text{ cm} \end{array} \right\} b_E = 150 \text{ cm}$$

Menentukan nilai n :

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200000}{23500} = 8,51 \approx 8$$

Pelat beton ditransformasi ke penampang baja, sehingga:

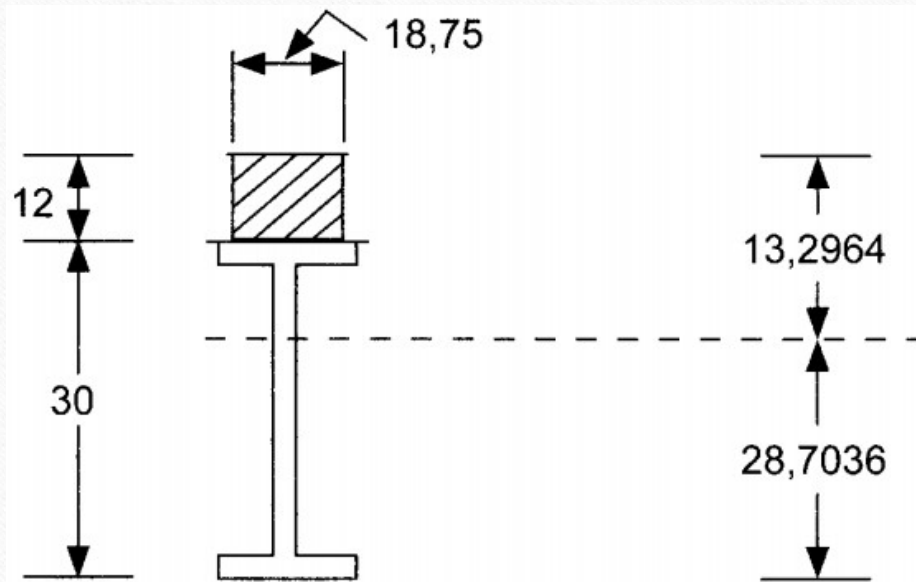
$$\frac{b_E}{n} = \frac{150}{8} = 18,75 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Menentukan letak garis netral:

	Luas Transformasi A (cm ²)	Lengan Momen y (cm)	$A.y$ (cm ³)
Pelat Beton	225	6	1350
Profil WF	119,8	27	3234,6
	344,8		4584,6

Penyelesaian



$$\bar{y} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{4584,6}{344,8} = 13,2964 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Momen inersia penampang dihitung dengan menggunakan teorema sumbu sejajar

	A (cm ²)	y (cm)	I_o (cm ⁴)	d (cm)	$I_o + Ad^2$ (cm ⁴)
Pelat Beton	225	6	2700	7,2964	14678,42692
Profil WF	119,8	27	20400	13,7036	42897,08062
				$I_{tr} =$	57575,50754

Selanjutnya modulus penampang (S) dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_c = S_{\text{beton}} = \frac{57575,50754}{13,2964} = 4330,1576 \text{ cm}^3$$

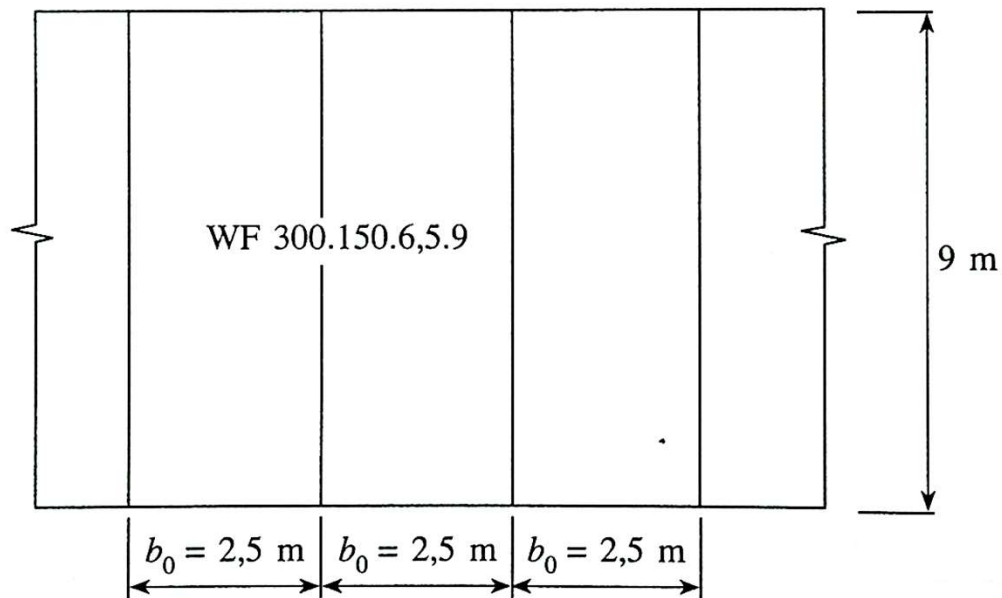
Penyelesaian

$$S_{sa} = S_{\text{baja atas}} = \frac{57575,50754}{1,2964} = 44411,8386 \text{ cm}^3$$

$$S_{sb} = S_{\text{baja bawah}} = \frac{57575,50754}{28,7036} = 2005,8636 \text{ cm}^3$$

Contoh Soal 2

Hitunglah tegangan-tegangan dari balok komposit dalam gambar berikut, jika diketahui mutu beton $f'_c = 20$ MPa dan $E_{\text{baja}} = 200.000$ MPa dan momen lentur yang bekerja



sebesar 150 kN·m.

Penyelesaian

Penyelesaian:

Mencari lebar efektif:

$$b_E = \frac{L}{4} = \frac{900}{4} = 225 \text{ cm} \quad \left. \vphantom{b_E} \right\} b_E = 225 \text{ cm}$$

$$b_E = b_0 = 250 \text{ cm}$$

Menentukan nilai n :

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{20} = 21.000 \text{ MPa}$$

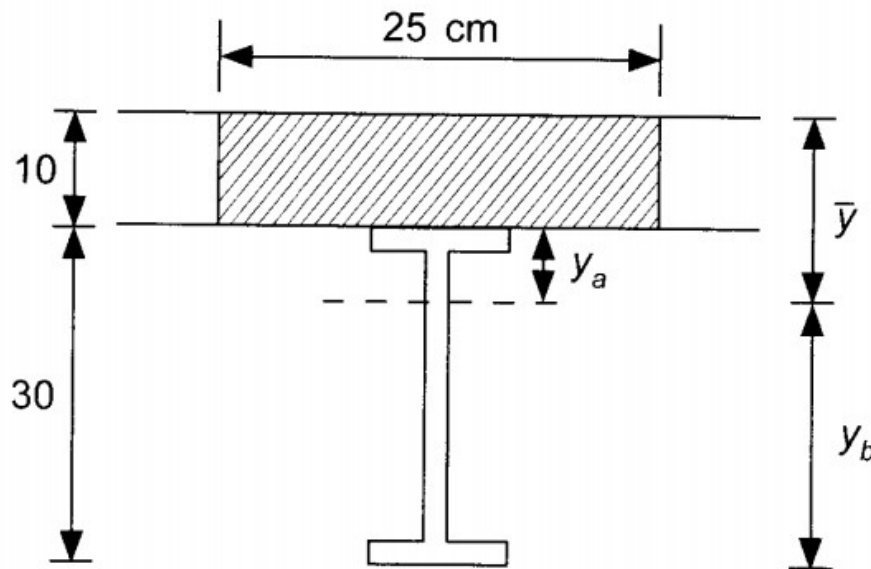
$$E_{\text{baja}} = 200.000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200.000}{21.000} = 9,52 \approx 9$$

Penyelesaian

pelat beton ditransformasi ke penampang baja, sehingga:

$$\frac{b_E}{n} = \frac{225}{9} = 25 \text{ cm}$$



$$y_a = \bar{y} - t = 8,1525 - 10 \\ = -1,8475 \text{ cm}$$

$$y_b = t + d - \bar{y} \\ = 10 + 30 - 8,1525 \\ = 31,8475 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Menentukan lokasi sumbu netral:

	Luas Transformasi A (cm ²)	Lengan Momen y (cm)	$A.y$ (cm ³)
Pelat Beton	250	5	1250
Profil WF	46,78	25	1169,5
	296,78		2419,5

$$\bar{y} = \frac{\sum A.y}{\sum A} = \frac{2419,5}{296,78} = 8,1525 \text{ cm} \quad (\text{diukur dari bagian atas pelat})$$

Penyelesaian

Momen inersia penampang selanjutnya dihitung dengan menggunakan teori sumbu sejajar:

	A (cm ²)	y (cm)	I_o (cm ⁴)	d (cm)	$I_o + Ad^2$ (cm ⁴)
Pelat Beton	250	5	2083,3	3,1525	4567,864
Profil WF	46,78	25	7210	16,8475	20487,954
				$I_{tr} =$	25055,818

Tegangan pada serat atas baja:

$$f_{sa} = \frac{M \times y_a}{I_{tr}} = \frac{150 \times 10^6 \times 18,475}{25055,818 \times 10^4} = 11,06 \text{ MPa} \quad (\text{tarik})$$

(bagian atas baja terletak di bawah sumbu netral, sehingga f_{sa} adalah tegangan tarik)

Penyelesaian

Tegangan pada serat bawah baja:

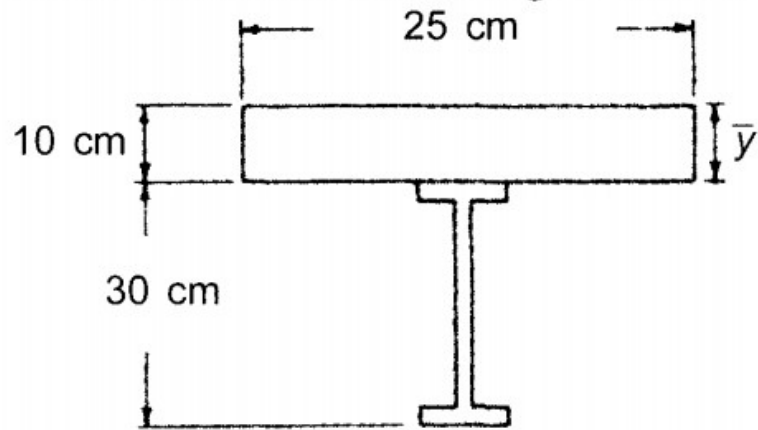
$$f_{sb} = \frac{M \times y_b}{I_{tr}} = \frac{150 \times 10^6 \times 318,475}{25055,818 \times 10^4} = 190,66 \text{ MPa (tarik)}$$

Tegangan pada serat atas beton:

$$f_c = \frac{M \times \bar{y}}{n \times I_{tr}} = \frac{150 \times 10^6 \times 81,525}{9 \times 25055,818 \times 10^4} = 5,42 \text{ MPa (tekan)}$$

Penyelesaian

Jika beton diasumsikan tidak memikul tegangan tarik, beton di bawah sumbu netral harus diabaikan. Perhitungan sumbu netral diulangi lagi sebagai berikut:



	A	y	$A.y$
Beton	$25.\bar{y}$	$\bar{y}/2$	$12,5.\bar{y}^2$
Profil	46,78	25	1169,5

Penyelesaian

$$\bar{y} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{12,5\bar{y}^2 + 1169,5}{25\bar{y} + 46,78}$$

$$\bar{y}(25\bar{y} + 46,78) = 12,5\bar{y}^2 + 1169,5$$

$$25\bar{y}^2 + 46,78\bar{y} = 12,5\bar{y}^2 + 1169,5$$

$$12,5\bar{y}^2 + 46,78\bar{y} - 1169,5 = 0$$

$$\bar{y} = 7,98 \text{ cm}$$

Momen inersia penampang:

$$I_{tr} = \frac{1}{3}(25)(7,98)^3 + 7210 + 46,78(25 - 7,98)^2 = 24995,996 \text{ cm}^4$$

Penyelesaian

Tegangan-tegangan pada penampang:

$$f_{sa} = \frac{150 \times 10^6 \times (100 - 79,8)}{24995,996 \times 10^4} = 12,12 \text{ MPa} \quad (\text{tarik})$$

$$f_{sb} = \frac{150 \times 10^6 \times (300 + 100 - 79,8)}{24995,996 \times 10^4} = 192,15 \text{ MPa} \quad (\text{tarik})$$

$$f_c = \frac{150 \times 10^6 \times 79,8}{9 \times 24995,996 \times 10^4} = 5,32 \text{ MPa} \quad (\text{tekan})$$

Perbedaan hasil analisis pertama dan kedua tidak terlalu besar, sehingga dalam prakteknya perhitungan kembali letak sumbu netral tidak terlalu perlu dilakukan.

**Sistem Pelaksanaan
Komponen Struktur
Komposit**

Sistem Pelaksanaan Komponen Struktur Komposit

Metode pelaksanaan suatu komponen struktur komposit (khususnya untuk komponen struktur lentur), secara umum dapat dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya tumpuan sementara (perancah).

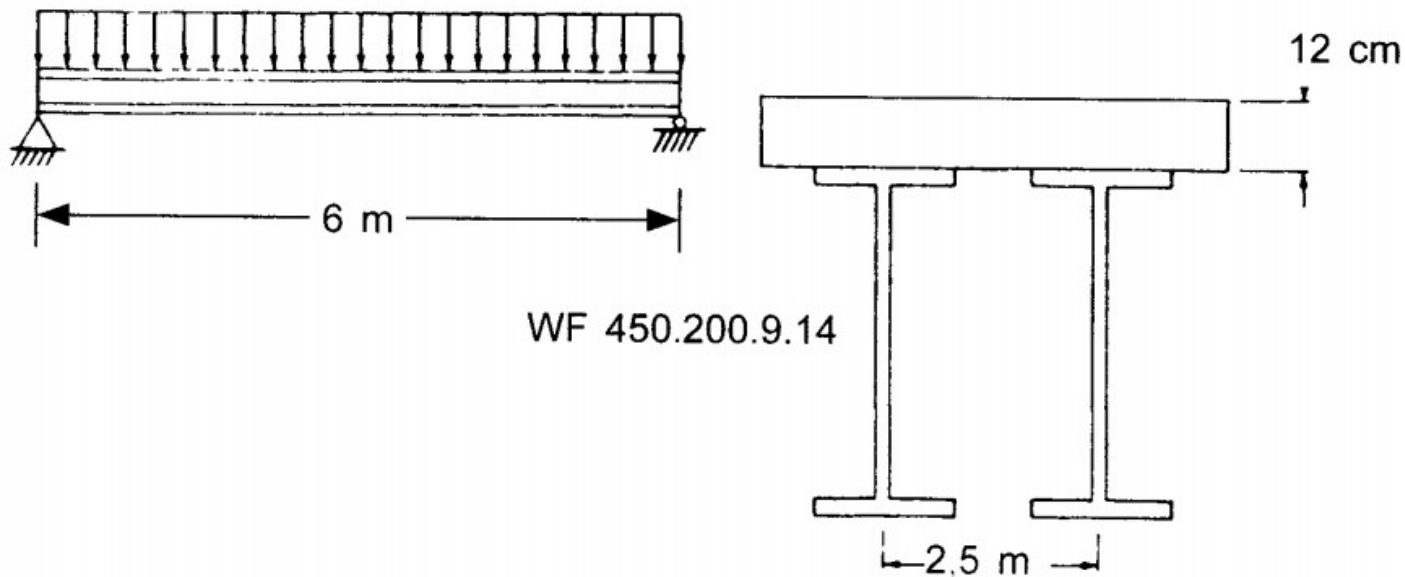
Jika tumpuan sementara tidak digunakan (*unshored*) maka profil baja akan berperilaku sebagai penumpu dari bekisting pelat beton, selama beton belum mengeras. Dalam tahap ini, balok baja harus mampu memikul beban-beban yang meliputi berat sendiri, berat bekisting pelat serta berat beton yang masih belum mengeras. Setelah pelat beton mengeras maka aksi komposit akan mulai bekerja, sehingga semua beban layan yang ada (meliputi beban mati dan hidup) akan dipikul oleh komponen struktur komposit.

Sistem Pelaksanaan Komponen Struktur Komposit

Sistem pelaksanaan yang lain adalah dengan menggunakan tumpuan sementara (*shored*) selama pelat beton belum mengeras. Tumpuan sementara ini akan memikul berat dari profil baja, bekisting pelat serta beton yang belum mengeras. Dengan digunakannya tumpuan sementara akan dapat mengurangi tegangan yang timbul pada profil baja selama proses konstruksi. Setelah beton mengeras, perancah dilepas dan beban-beban layan dipikul melalui aksi komposit baja dan pelat beton.

Contoh Soal 3

Diketahui suatu penampang komposit dengan jarak antar balok 2,5 m. Mutu beton yang digunakan adalah $f'_c = 20$ MPa dan mutu baja BJ 41. Beban hidup yang bekerja sebesar 500 kg/m^2 . Hitunglah tegangan-tegangan yang terjadi pada penampang untuk sistem pelaksanaan tanpa perancah (*unshored*) dan untuk sistem pelaksanaan dengan perancah (*shored*)!



Penyelesaian

JAWAB:

Menentukan lebar efektif, b_E , diambil nilai terkecil dari:

$$\left. \begin{array}{l} b_E = L/4 = 600/4 = 150 \text{ cm} \\ b_E = b_o = 250 \text{ cm} \end{array} \right\} b_E = 150 \text{ cm}$$

Menentukan nilai n :

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{20} = 21000 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200000}{21000} \approx 9$$

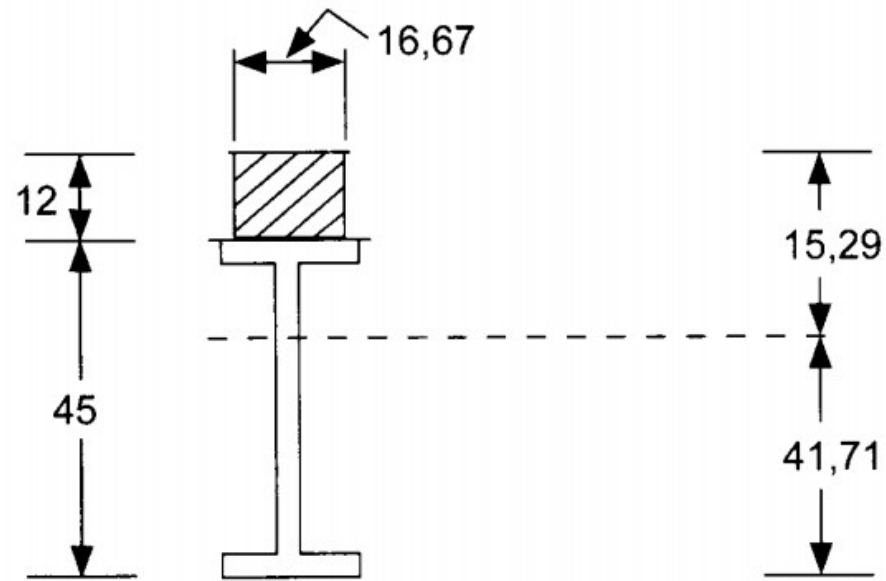
$$\text{lebar efektif ekivalen} = \frac{b_E}{n} = \frac{150}{9} = 16,67 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Menentukan letak garis netral:

	Luas Transformasi A (cm ²)	Lengan Momen y (cm)	$A.y$ (cm ³)
Pelat Beton	200,04	6	1200,24
Profil WF	96,76	34,5	3338,22
	296,80		4538,46

Penyelesaian



$$\bar{y} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{4538,46}{296,80} = 15,29 \text{ cm}$$

Penyelesaian

$$I_{tr} = 33500 + 96,76(34,5 - 15,29)^2 + \frac{1}{12}(16,67)(12)^3 + 200,04(15,29 - 6)^2$$

$$= 88871,524 \text{ cm}^4$$

$$S_c = \frac{88871,524}{15,29} = 5812,39 \text{ cm}^3$$

$$S_{sb} = \frac{88871,524}{41,71} = 2130,7 \text{ cm}^3$$

$$S_{sa} = \frac{88871,524}{15,29 - 12} = 27012,62 \text{ cm}^3$$

Penyelesaian

a. Pemeriksaan tegangan untuk sistem pelaksanaan tanpa perancah (*unshored*)
Perhitungan beban konstruksi:

1. berat profil WF = 76 kg/m
 2. berat pelat beton = $0,12(2400)(2,5) = 720$ kg/m
 3. berat bekisting = $50(2,5) = 125$ kg/m
- Total = 921 kg/m

Tahap I: pelat beton belum mengeras, beban seluruhnya dipikul oleh profil baja

$$M_{\max} = \frac{1}{8}(921)(6)^2 = 4144,5 \text{ kg.m} = 4,1445 \text{ ton.m} = 4,1445 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$f_{sa} = \frac{M_{\max}}{S_x} = \frac{4,1445 \times 10^7}{1490 \times 10^3} = 27,815 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = f_{sa} = 27,815 \text{ MPa}$$

Penyelesaian

Tahap II: beton sudah mengeras, beban hidup 500 kg/m^2 dipikul oleh penampang komposit.
Beban hidup yang harus dipikul = $500(2,5) = 1250 \text{ kg/m}$

$$M_{\max} = \frac{1}{8}(1250)(6)^2 = 5625 \text{ kg.m} = 5,625 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

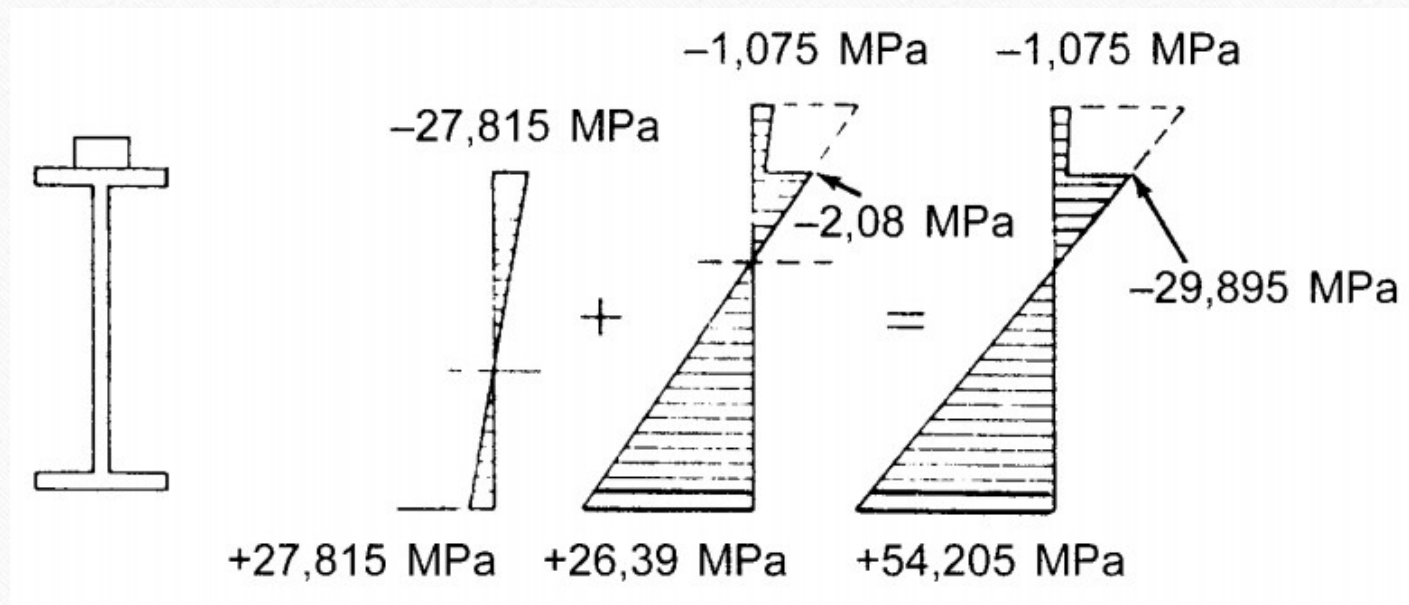
Tambahan tegangan yang terjadi:

$$f_c = \frac{M_{\max}}{n \times S_c} = \frac{5,625 \times 10^7}{9 \times 5812,39 \times 10^3} = - 1,075 \text{ MPa}$$

$$f_{sa} = \frac{M_{\max}}{S_{sa}} = \frac{5,625 \times 10^7}{27012,62 \times 10^3} = - 2,08 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{\max}}{S_{sb}} = \frac{5,625 \times 10^7}{2130,7 \times 10^3} = 26,39 \text{ MPa}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

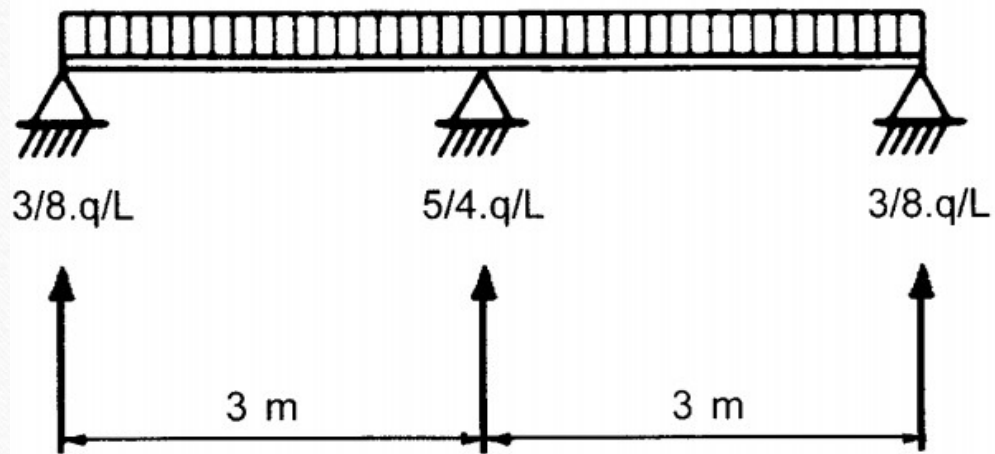
- b. Pemeriksaan tegangan untuk sistem pelaksanaan dengan perancah (*shored*) di tengah bentang

Tahap I: balok memikul 921 kg/m

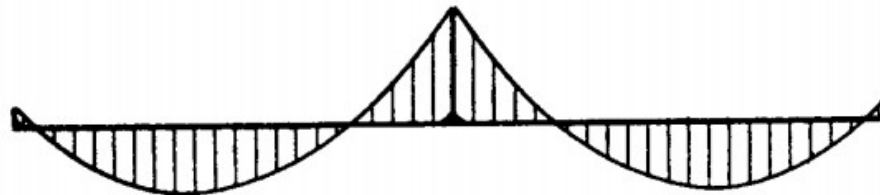
$$M_{\max}^+ = \frac{9}{128} \cdot q \cdot L^2 = \frac{9}{128} (921)(3)^2 = 582,82 \text{ kg.m} = 0,58282 \cdot 10^7 \text{ N.mm}$$

$$M_{\max}^- = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 = \frac{1}{8} (921)(3)^2 = 1036,125 \text{ kg.m} = 1,036125 \cdot 10^7 \text{ N.mm}$$

Penyelesaian



$$M^+ = \frac{9}{128} \cdot qL^2$$



$$M^- = 1,8 \cdot qL^2$$

$$\text{Pada } M^+ : \quad -f_{sa} = f_{sb} = \frac{0,58282 \times 10^7}{1490 \times 10^3} = 3,91 \text{ MPa}$$

$$\text{Pada } M^- : \quad f_{sa} = -f_{sb} = \frac{1,036125 \times 10^7}{1490 \times 10^3} = 6,95 \text{ MPa}$$

Tahap II: pelat beton sudah mengeras penunjang di tengah dilepaskan
Pada tengah bentang timbul momen lentur akibat R_B dan beban hidup, yang besarnya:

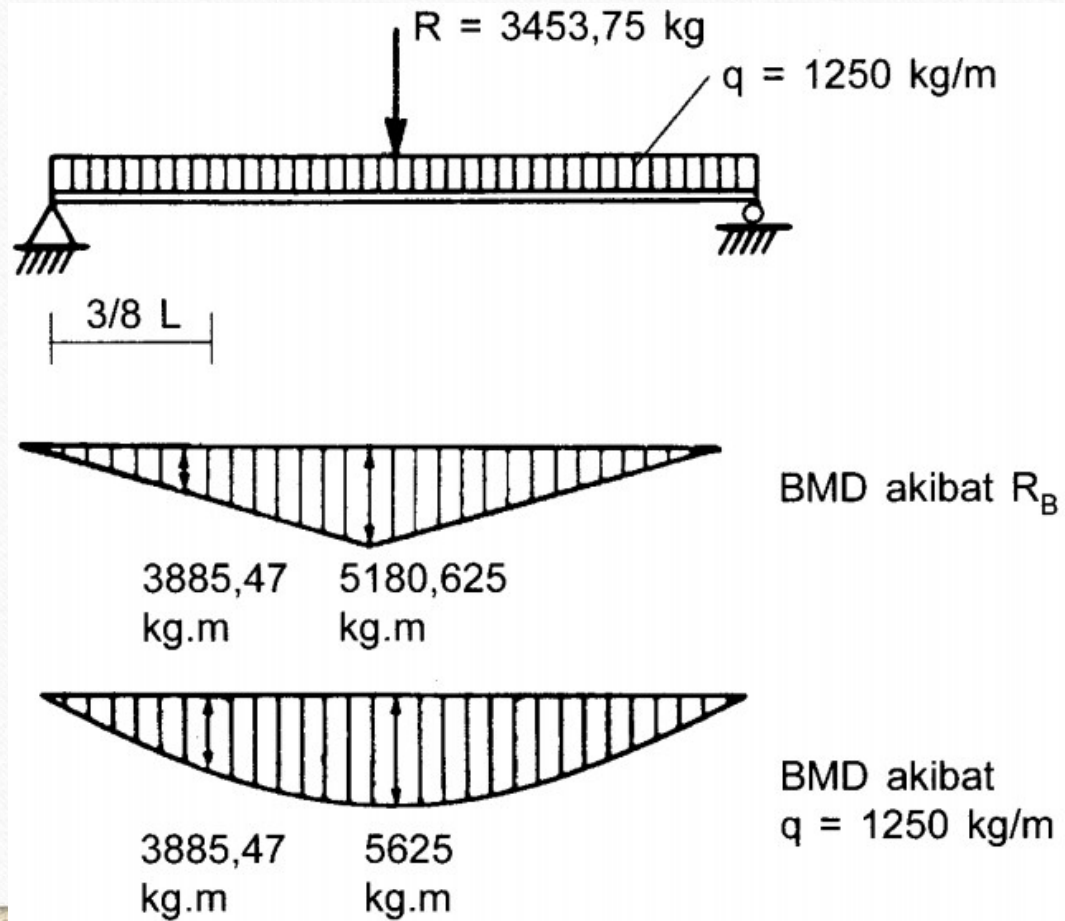
$$M^+ = 5180,625 + 5625 = 10805,625 \text{ kg.m} = 10,805625 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$f_c = \frac{M}{n \times S_c} = \frac{10,805625 \times 10^7}{9 \times 5812,39 \times 10^3} = - 2,06 \text{ MPa}$$

$$f_{sa} = \frac{M}{S_{sa}} = \frac{10,805625 \times 10^7}{27012,62 \times 10^3} = - 4 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M}{S_{sb}} = \frac{10,805625 \times 10^7}{2130,7 \times 10^3} = + 50,71 \text{ MPa}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

Pada $3/8L$ dari tepi kiri timbul momen sebesar:

$$M^* = 3885,47 + 3427,73 = 7313,2 \text{ kg.m} = 7,3132 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$f_c = \frac{M}{n \times S_c} = \frac{7,3132 \times 10^7}{9 \times 5812,39 \times 10^3} = - 1,39 \text{ MPa}$$

$$f_{sa} = \frac{M}{S_{sa}} = \frac{7,3132 \times 10^7}{27012,62 \times 10^3} = - 2,71 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M}{S_{sb}} = \frac{7,3132 \times 10^7}{2130,7 \times 10^3} = + 34,32 \text{ MPa}$$

Penyelesaian

Tegangan total:

	Pada tengah bentang	Pada $3/8L$ dari kiri
f_c	- 2,06 MPa	- 1,39 MPa
f_{sa}	$+ 6,95 - 4 = +$ 2,95 MPa	$- 3,91 - 2,71 = -$ 6,62 MPa
f_{sb}	$- 6,95 + 50,71 = +$ 54,62 MPa	$+ 3,91 + 34,32 = +$ 38,23 MPa

Kuat Lentur Nominal

Kuat Lentur Nominal

Kuat lentur nominal dari suatu komponen struktur komposit (untuk momen positif), menurut SNI 03-1729-2002 pasal 12.4.2.1 ditentukan sebagai berikut:

a. Untuk $\frac{b}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_{yf}}}$

M_n kuat momen nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit

$$\phi_b = 0,85$$

b. Untuk $\frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E}$

M_n kuat momen nominal yang dihitung berdasarkan superposisi tegangan-tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh tumpuan sementara (perancah)

$$\phi_b = 0,90$$

Kuat Lentur Nominal

Kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis, dapat dikategorikan menjadi dua kasus sebagai berikut:

1. Sumbu netral plastis jatuh pada pelat beton

Dengan mengacu pada Gambar 12.5, maka besar gaya tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E \quad 12.12$$

Gaya tarik T pada profil baja adalah sebesar:

$$T = A_s \cdot f_y \quad 12.13$$

Dari keseimbangan gaya $C = T$, maka diperoleh:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E} \quad 12.14$$

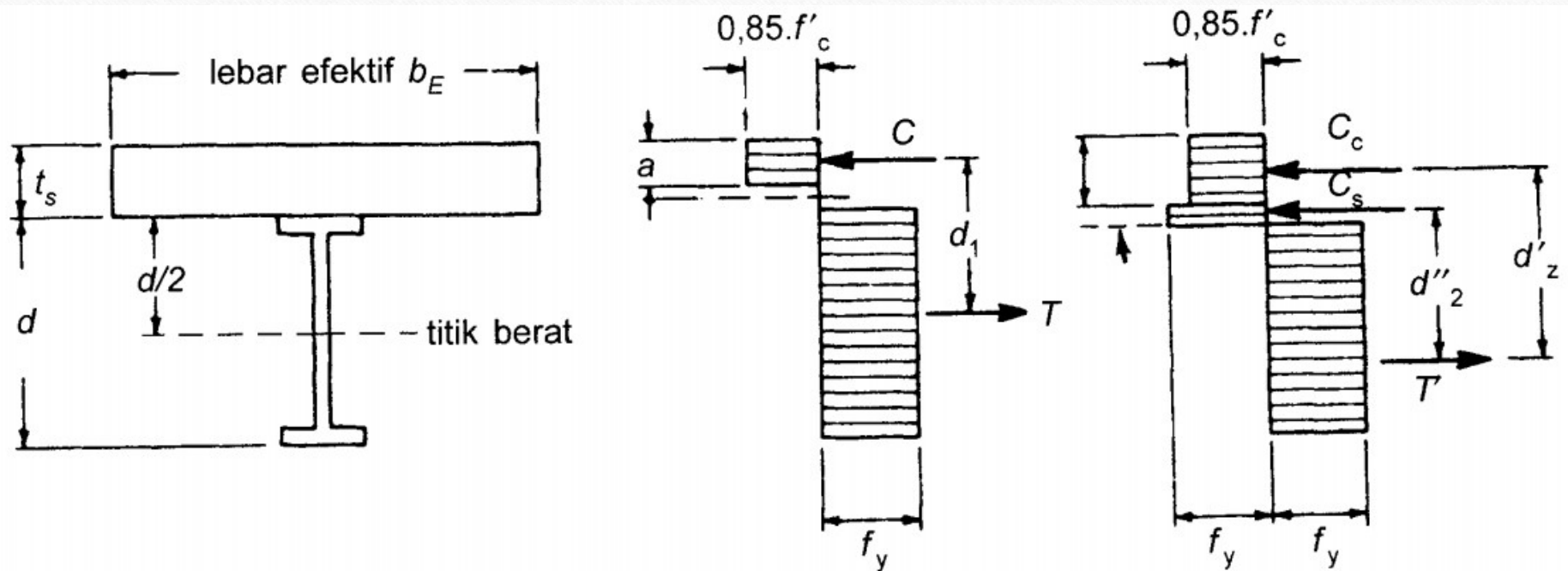
Kuat Lentur Nominal

Kuat lentur nominal dapat dihitung dari Gambar 12.5.b:

$$M_n = C \cdot d_1$$

$$\text{Atau} \quad = T \cdot d_1 = A_s \cdot f_y \cdot \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right)$$

Kuat Lentur Nominal



Gambar 12.5 Kuat Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi Tegangan Plastis

Kuat Lentur Nominal

Jika dari hasil perhitungan persamaan 12.14 ternyata $a > t_s$, maka asumsi harus diubah. Hasil ini menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat untuk mengimbangi gaya tarik yang timbul pada profil baja.

2. Sumbu netral plastis jatuh pada profil baja

Apabila ke dalam blok tegangan beton, a , ternyata melebihi tebal pelat beton, maka distribusi tegangan dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 12.5.c. Gaya tekan, C_c , yang bekerja pada beton adalah sebesar:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s \quad 12.17$$

Dari keseimbangan gaya, diperoleh hubungan:

$$T' = C_c + C_s \quad 12.18$$

Kuat Lentur Nominal

Besarnya T' sekarang lebih kecil daripada $A_s \cdot f_y$, yaitu:

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s \quad 12.19$$

Dengan menyamakan persamaan 12.18 dan 12.19 diperoleh:

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - C_c}{2} \quad 12.20$$

Atau dengan mensubstitusikan persamaan 12.17, diperoleh bentuk:

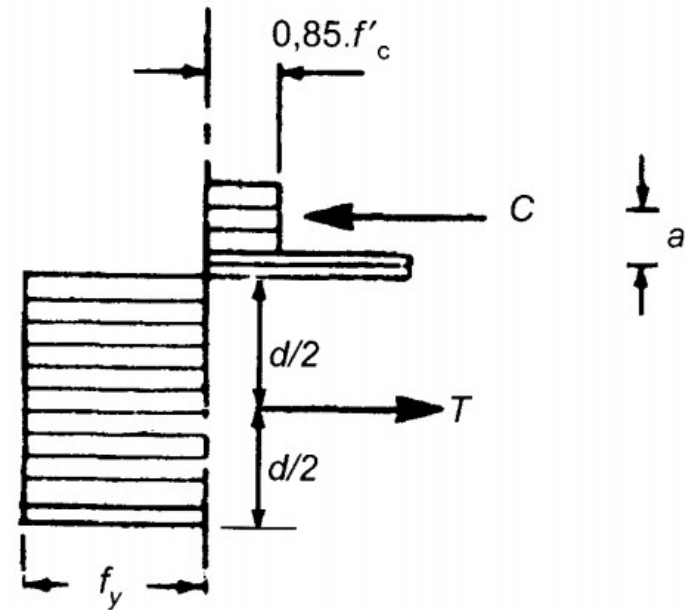
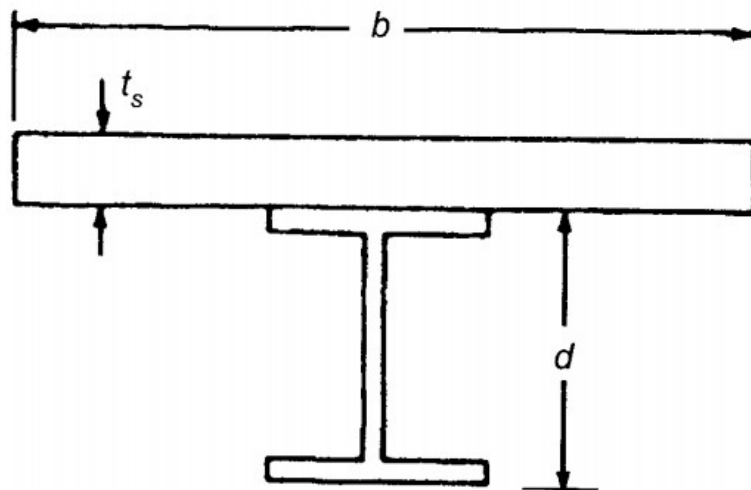
$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s}{2} \quad 12.21$$

Kuat lentur nominal diperoleh dengan memperhatikan Gambar 12.5.c:

$$M_n = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \quad 12.22$$

Contoh Soal 4

Hitunglah kuat lentur rencana dari komponen struktur balok komposit pada contoh 12.2. Asumsikan terdapat cukup penghubung geser sehingga balok dapat berperilaku sebagai komponen struktur komposit penuh.



Penyelesaian

Tentukan gaya tekan C dalam beton (gaya geser horizontal pada pertemuan antara **beton** dan baja). Karena balok diasumsikan berperilaku sebagai komposit penuh, maka nilai diambil dari nilai terkecil antara $A_s \cdot f_y$ dan $0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$:

$$A_s \cdot f_y = 4678(240) = 1122720 \text{ N}$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot A_c = 0,85(20)(100)(2250) = 3825000 \text{ N}$$

sehingga $C = 1122720 \text{ N}$

Penyelesaian

Gaya tekan resultan dapat diekspresikan sebagai:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$$

$$\text{Atau } a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1122720}{0,85 \times 20 \times 2250} = 29,3521 \text{ mm}$$

Gaya tekan resultan C terletak pada jarak $a/2$ dari serat atas beton. Gaya tarik resultan T terletak pada titik berat profil WF, lengan momen dari momen kopel C dan T adalah sebesar:

$$y = d/2 + t - a/2 = (300/2) + 100 - (29,3521/2) = 235,32395 \text{ mm}$$

Penyelesaian

Kuat lentur nominal dari komponen struktur komposit tersebut:

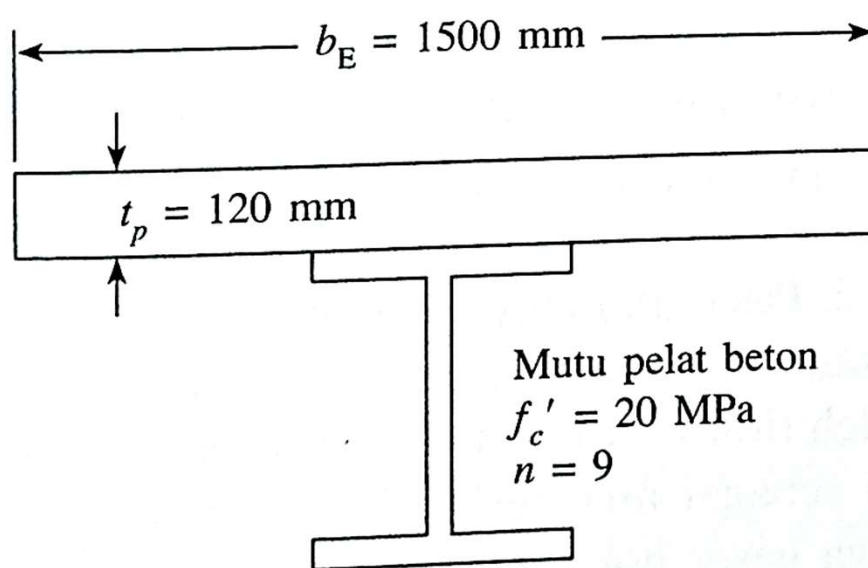
$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 1122720(235,32395) = 264202905,1 \text{ Nmm}$$

Kuat lentur rencana:

$$\begin{aligned}\phi_b M_n &= 0,85(264202905,1) \\ &= 224572469,3 \text{ Nmm} = 22,457 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Contoh Soal 5

Hitunglah kuat lentur nominal M_n dari penampang komposit berikut:



Penyelesaian

Penyelesaian:

Asumsikan sumbu netral plastis jatuh di pelat beton, sehingga:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E} = \frac{13.440 \times 240}{0,85 \times 20 \times 1500}$$

$$= 126,49 \text{ mm} > t_p (=120 \text{ mm})$$

Penyelesaian

Karena tebal pelat beton hanya 12 cm, maka pelat beton tidak dapat mengimbangi gaya tarik $A_s \cdot f_y$ yang timbul pada baja, sehingga lokasi sumbu netral plastis akan jatuh pada profil baja (kasus 2).

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s = 0,85(20)(1500)(120) = 3060000 \text{ N}$$

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s}{2} = \frac{(13440 \times 240) - 3060000}{2} = 82800 \text{ N}$$

Tinggi blok tekan pada sayap profil baja dihitung sebagai berikut:

$$d_f = \frac{C_s}{b_f \times f_y} = \frac{82800}{200 \times 240} = 1,725 \text{ mm} < t_f (= 17 \text{ mm})$$

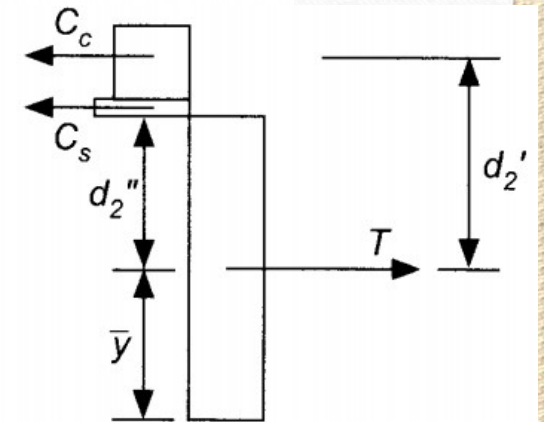
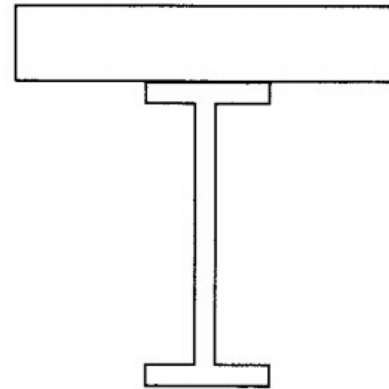
Penyelesaian

Lokasi titik berat dari bagian tarik profil baja diukur dari serat bawah profil adalah

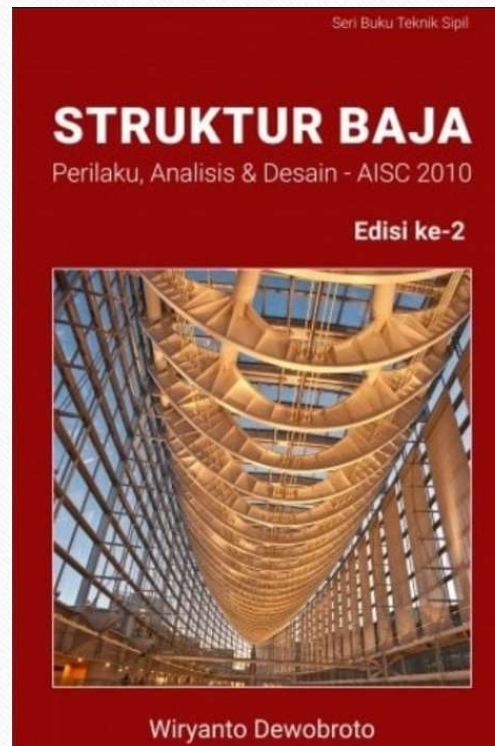
$$\bar{y} = \frac{134,4(30) - 0,1725(20)(59,91375)}{134,4 - 0,1725(20)} = 29,21 \text{ cm}$$

Kuat lentur nominal

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \\ &= 3060000(367,9) + 82800(307) \\ &= 1151193600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Referensi



Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 3 – Komponen Struktur Komposit Bagian 1

Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



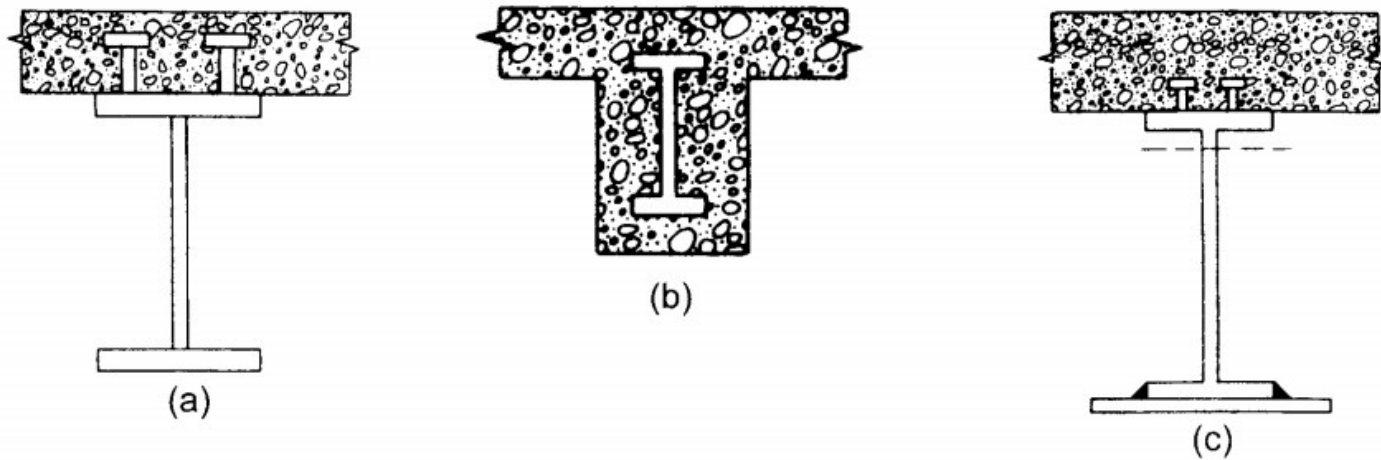
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Struktur Komposit

Struktur Komposit

Penggunaan balok baja untuk menopang suatu pelat beton telah ditemukan sejak lama, Namun pada saat itu pelat beton dan balok baja tidak dihubungkan dengan suatu penghubung geser sehingga yang dihasilkan adalah suatu penampang non komposit. Pada penampang non komposit, pealt beton akan mengalami lendutan yang cukup besar yang disebabkan oleh besarnya beban yang harus dipikul oleh pelat beton sendiri. Seiring berkembangnya metode pengelasan yang baik serta ditemukannya alat alat penghubung geser yang menahan gaya geser horizontal, maka lendutan antara pelat beton dan balok baja dapat ditingkatkan. Pada Akhirnya kedua material ini (Baja dan beton) akan menjadi satu kesatuan komponen struktur yang disebut dengan "Komponen Struktur Komposit".

Struktur Komposit



Gambar 12.1 (a) Lantai Jembatan Komposit dengan Penghubung Geser, (b) Balok Baja yang Diselubungi Beton, (c) Lantai Komposit Gedung dengan Penghubung Geser

Struktur Komposit

Pada awal tahun 1960 mulai dikembangkan pula penggunaan komponen struktur komposit untuk bangunan gedung yang menganut pada spesifikasi yang dikeluarkan oleh AISC (*American Institute of Steel Construction*) pada tahun 1952. Komponen struktur komposit yang digunakan dapat berupa balok baja yang diselubungi dengan beton (Gambar 12.1.b) atau berupa balok baja yang menopang pelat beton tanpa penghubung geser (Gambar 12.1.c). Namun sekarang struktur balok baja yang diselubungi dengan beton sudah jarang digunakan, dan hampir seluruh struktur komposit untuk bangunan gedung mempunyai penampang seperti pada Gambar 12.1.c.

Struktur Komposit

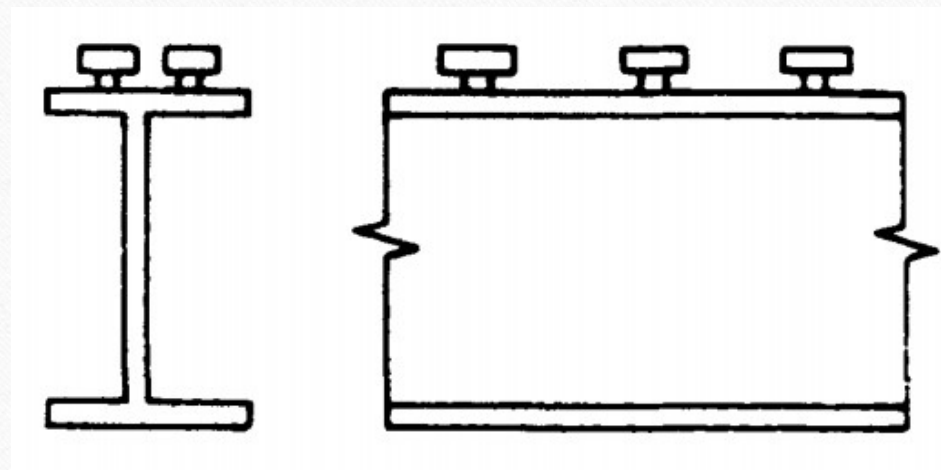
Perilaku komposit hanya akan terjadi jika potensi terjadinya slip antara kedua material ini dapat dicegah. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa hal ini dapat teratasi jika gaya geser horizontal pada kedua permukaan baja dan beton dapat ditahan dengan menggunakan penghubung geser. Tipe-tipe penghubung geser yang sering digunakan dapat berupa stud, baja tulangan spiral, atau profil kanal kecil yang pendek. Penghubung geser ini selanjutnya dihubungkan pada bagian flens atas balok dengan jarak tertentu dan akan memberikan sambungan secara mekanik melalui mekanisme pengankuran dalam beton yang telah mengeras. Penghubung geser tipe stud paling banyak digunakan, dan lebih dari satu buah stud dapat dipasangkan pada tiap lokasi, jika lebar flens memungkinkannya. Di samping itu pemasangan stud juga relatif lebih mudah dan hanya membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah yang sedikit.

Struktur Komposit

Sejumlah penghubung geser diperlukan untuk membuat sebuah balok dapat berfungsi komposit secara penuh. Namun terkadang jumlah penghubung geser dapat dipasang lebih sedikit daripada yang diperlukan untuk menimbulkan perilaku komposit penuh, hal ini akan mengakibatkan terjadinya slip antara baja dan beton; balok seperti ini dikatakan mengalami aksi komposit parsial.

Seiring dengan perkembangan teknologi, mulai ditemukan pula pelat baja gelombang yang digunakan dalam pembuatan struktur pelat komposit dan terbuat dari bahan yang mempunyai tegangan tarik tinggi serta dilapisi bahan anti karat. Pelat baja gelombang ini mempunyai dua fungsi yaitu sebagai bekisting tetap dan sebagai penulangan positif satu arah pada lantai beton bangunan Gedung bertingkat.

Struktur Komposit



Pelat Lantai Komposit dengan Pelat Gelombang

Struktur Komposit

Arah gelombang (*rib*) dari pelat baja ini dapat diletakkan dalam arah tegak lurus atau sejajar terhadap balok. Namun pada sistem pelat lantai komposit, umumnya arah *rib* diletakkan tegak lurus terhadap balok lantai dan sejajar dengan arah balok induk.

Dengan menggunakan konstruksi komposit dalam desain suatu komponen struktur ternyata dapat diperoleh beberapa keuntungan sebagai berikut:

- a. Dapat mereduksi berat profil baja yang dipakai
- b. Tinggi profil baja yang dipakai dapat dikurangi
- c. Meningkatkan kekakuan lantai
- d. Dapat menambah Panjang bentang layan

Struktur Komposit

Reduksi berat sekitar 20-30% dapat diperoleh dengan memanfaatkan perilaku siste, komposit penuh. Dengan adanya reduksi berat ini maka secara langsung juga dapat mengurangi tinggi profil baja yang dipakai. Berkurangnya tinggi profil baja yang dipakai akan mengakibatkan berkurangnya tinggi bangunan secara keseluruhan, dan membawa dampak pula berupa pernghematan material bangunan, terutama untuk dinding luar dan tangga.

Struktur Komposit

Kekakuan dari pelat lantai komposit pada dasarnya lebih besar daripada kekakuan pelat beton dan balok baja yang beraksi non komposit. Secara normal pelat beton berperilaku sebagai pelat satu arah yang membentang diantara balok-balok penopang, Dalam desain komposit, momen inersia balok akan bertambah sehingga kekakuan pelat lantai akan meningkat. Meningkatnya kekakuan ini memberikan beberapa keuntungan dalam pelaksanaan konstruksi, antara lain bahwa lendutan akibat beban hidup akan berkurang dan penggunaan perancah selama proses konstruksi struktur komposit akan mampu mengurangi lendutan akibat beban mati.

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

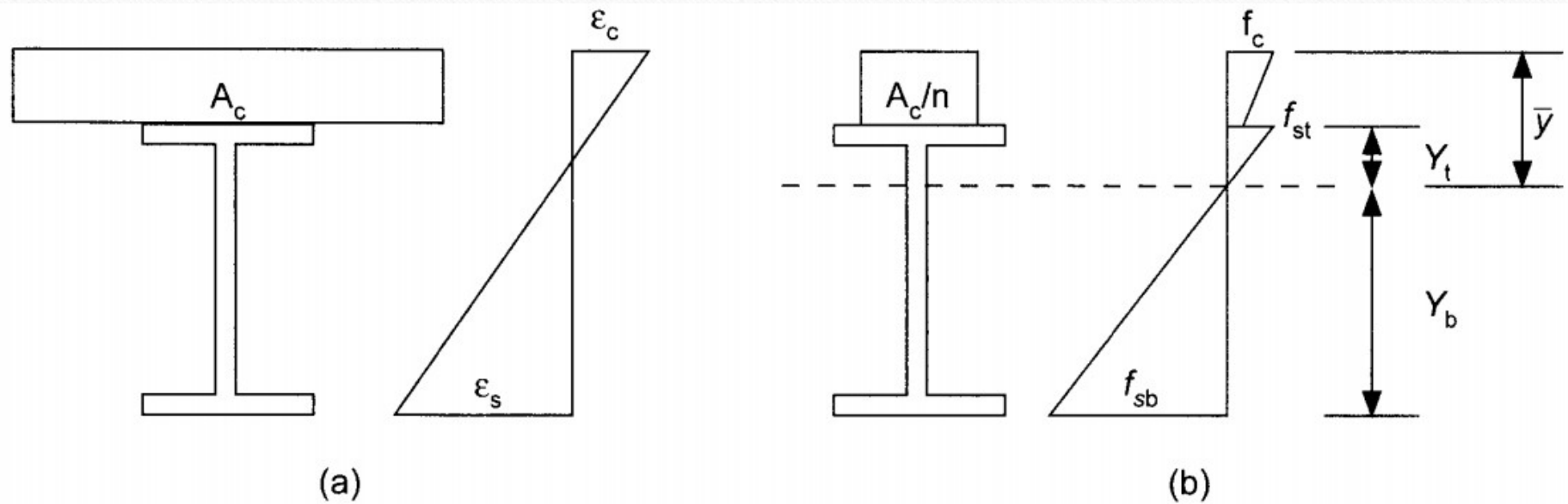
Kuat rencana dari balok komposit biasanya didasarkan pada kondisi saat terjadi keruntuhan, namun perilaku balok komposit pada saat beban layan merupakan salah satu hal penting yang harus dipahami. Lendutan harus selalu dikontrol pada saat beban layan, dan dalam beberapa kasus kuat rencana bisa ditentukan oleh syarat kemampuan.

Tegangan lentur dan geser dalam balok homogen dapat dihitung berdasarkan formula:

$$f_b = \frac{M \cdot c}{I} \text{ dan } f_v = \frac{VQ}{I \cdot t} \quad 12.1$$

Balok komposit bukan merupakan suatu balok homogen, sehingga persamaan di atas tidak dapat digunakan. Untuk dapat menghitung tegangan-tegangan pada suatu penampang komposit, diperlukan transformasi penampang. Umumnya penampang beton

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit



Gambar 12.3 (a) Diagram Regangan Balok Komposit, (b) Diagram Tegangan pada Balok Komposit dengan Penampang Tertransformasi

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

diagram regangan akan mempunyai bentuk seperti pada gambar tersebut. Hal ini sesuai dengan teori lendutan kecil, yang menyatakan bahwa penampang melintang akan tetap datar sebelum atau sesudah terjadi lentur. Namun, distribusi tegangan linear seperti dalam gambar hanya tepat untuk balok yang homogen. Hubungan antara tegangan dan regangan baja dan beton dapat dinyatakan sebagai:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \quad \text{atau} \quad \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s} \quad 12.2$$

$$\text{atau} \quad f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n f_c \quad 12.3$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton

n = E_s/E_c = rasio modulus

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

Modulus elastisitas beton diberikan dalam SNI pasal 12.3.2:

$$E_c = 0,041w^{1,5}\sqrt{f'_c}$$

12.4

Dengan w adalah berat jenis beton (2400 kg/m^3)

f'_c adalah kuat tekan beton berumur 28 hari (MPa)

Berat jenis beton normal dapat diambil sebesar 2400 kg/m^3 .

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

Perhatikan penampang komposit yang ditunjukkan dalam Gambar 12.3 (tata cara perhitungan lebar efektif balok komposit akan dijelaskan kemudian). Untuk mentransformasi luas beton, A_c , maka lebar efektif pelat beton dapat dibagi dengan dengan n , sedangkan tebal beton tidak perlu diubah. Hasil proses transformasi ini ditunjukkan dalam Gambar 12.3.b. Untuk menghitung tegangan, maka harus dihitung terlebih dahulu letak garis netral dan momen inersia dari penampang tersebut. Sehingga selanjutnya dapat dihitung besarnya tegangan lentur pada bagian atas dan bawah profil baja, dengan menggunakan persamaan:

$$f_{st} = \frac{M \cdot y_t}{I_{tr}} \quad 12.5$$

$$f_{sb} = \frac{M \cdot y_b}{I_{tr}} \quad 12.6$$

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

dengan:

M adalah momen lentur yang harus dipikul

I_{tr} adalah momen inersia terhadap sumbu netral

y_t adalah jarak dari sumbu netral ke serat atas profil baja

y_b adalah jarak dari sumbu netral ke serat bawah profil baja

Tegangan Elastis dalam Balok Komposit

Tegangan yang terjadi pada serat atas beton dihitung berdasarkan persamaan

$$f_c = \frac{M \cdot \bar{y}}{n \cdot I_{tr}}$$

12.7

Prosedur ini hanya tepat untuk momen lentur positif, dengan serat atas penampang komposit berada dalam tekan, sedangkan untuk momen lentur negatif akan mengakibatkan beton berada dalam kondisi tarik, padahal tegangan tarik beton sangat kecil sehingga tidak dapat menahan tegangan tarik yang terjadi.

Lebar Efektif Balok Komposit

Konsep lebar efektif sangat berguna dalam proses desain suatu komponen struktur (komposit), terutama ketika proses desain harus dilakukan terhadap suatu elemen yang mengalami distribusi tegangan yang tidak seragam. Besarnya lebar efektif dari suatu komponen struktur komposit dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk balok-balok interior:

$$b_E \leq \frac{L}{4} \quad 12.8$$

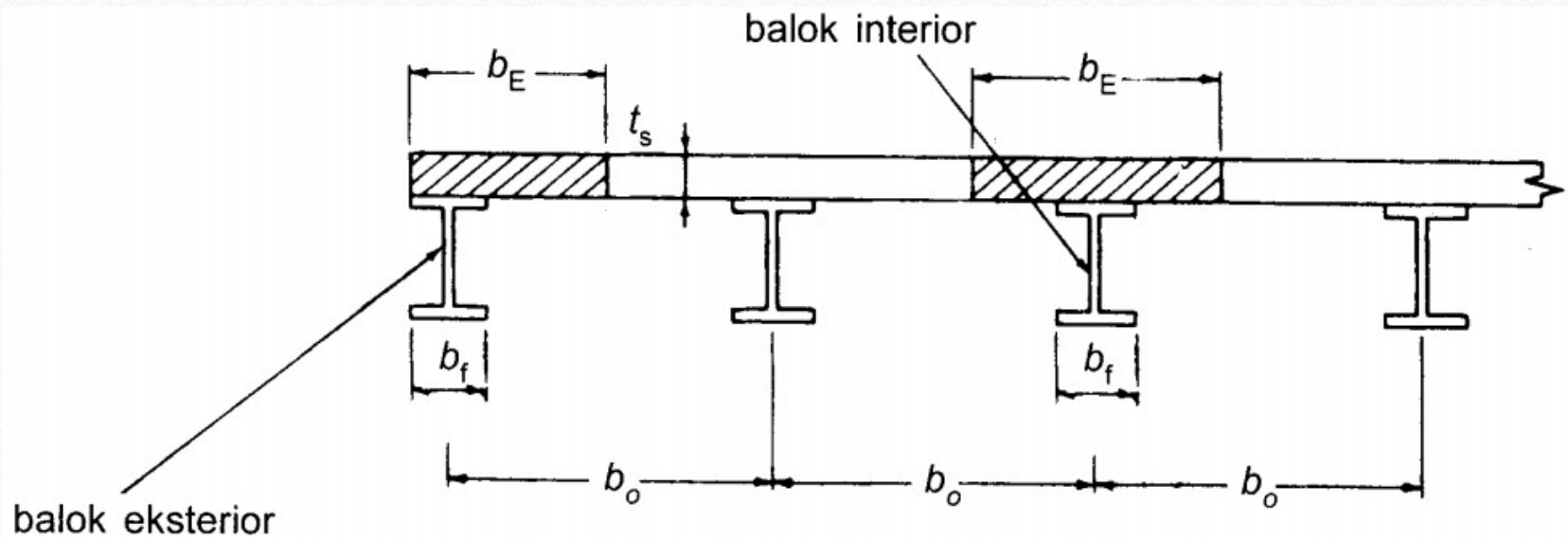
$$b_E \leq b_0 \quad 12.9$$

2. Untuk balok-balok eksterior:

$$b_E \leq \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad 12.10$$

$$b_E \leq \frac{1}{2} b_0 + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad 12.11$$

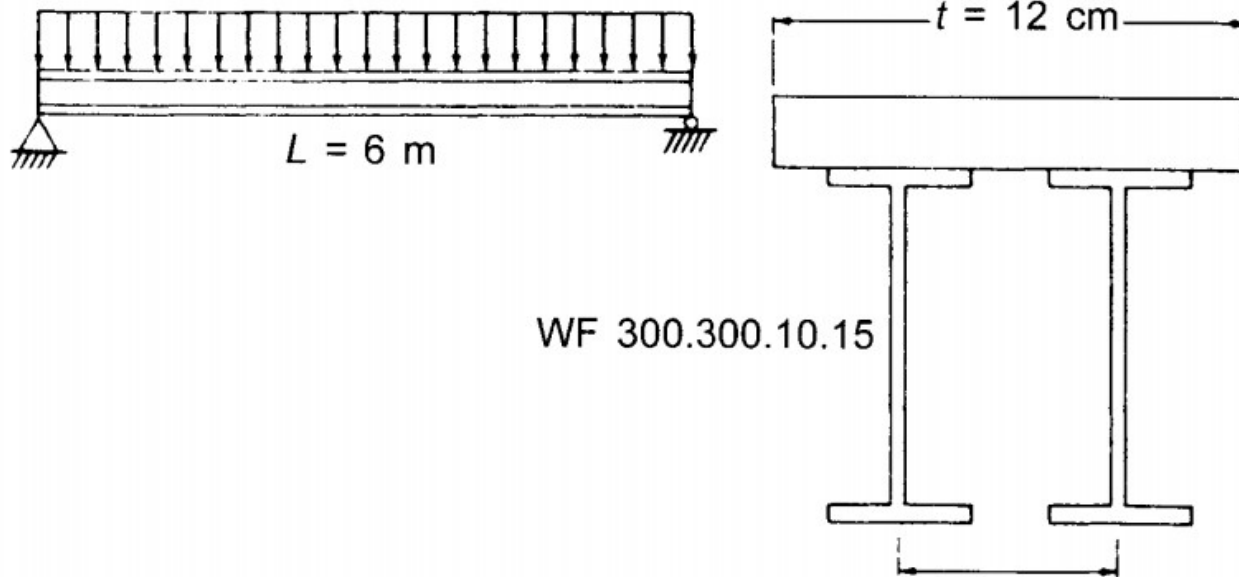
Lebar Efektif Balok Komposit



Gambar 12.4 Lebar Efektif Balok Komposit

Contoh Soal 1

Hitunglah momen inersia (I) dan modulus tampang (S) untuk penampang komposit berikut ini, jika diketahui mutu beton untuk pelat adalah $f'_c = 25$ MPa.



Penyelesaian

JAWAB:

Lebar efektif pelat beton diambil nilai terkecil dari:

$$\left. \begin{array}{l} b_E = L/4 = 600/4 = 150 \text{ cm} \\ b_E = b_o = 300 \text{ cm} \end{array} \right\} b_E = 150 \text{ cm}$$

Menentukan nilai n :

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200000}{23500} = 8,51 \approx 8$$

Pelat beton ditransformasi ke penampang baja, sehingga:

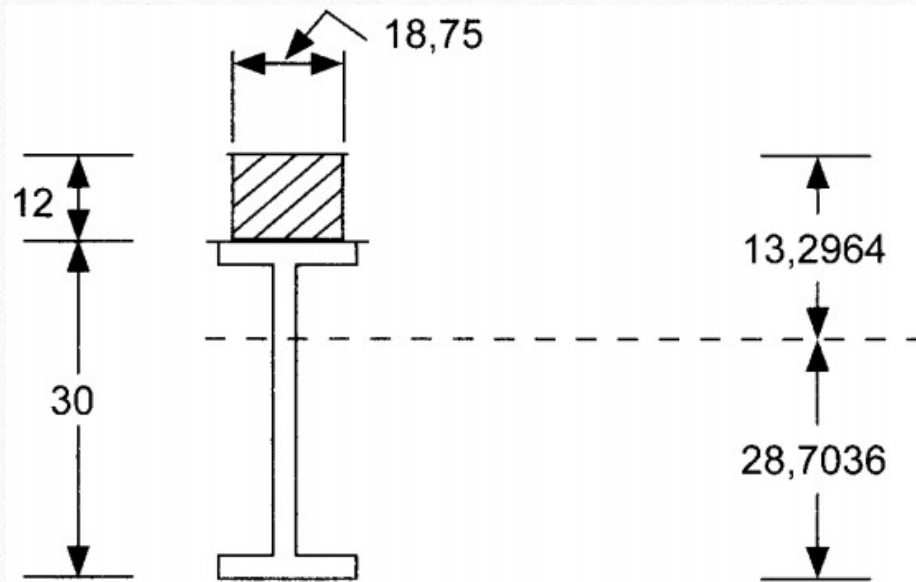
$$\frac{b_E}{n} = \frac{150}{8} = 18,75 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Menentukan letak garis netral:

	Luas Transformasi A (cm ²)	Lengan Momen y (cm)	$A.y$ (cm ³)
Pelat Beton	225	6	1350
Profil WF	119,8	27	3234,6
	344,8		4584,6

Penyelesaian



$$\bar{y} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{4584,6}{344,8} = 13,2964 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Momen inersia penampang dihitung dengan menggunakan teorema sumbu sejajar

	A (cm ²)	y (cm)	I_o (cm ⁴)	d (cm)	$I_o + Ad^2$ (cm ⁴)
Pelat Beton	225	6	2700	7,2964	14678,42692
Profil WF	119,8	27	20400	13,7036	42897,08062
				$I_{tr} =$	57575,50754

Selanjutnya modulus penampang (S) dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_c = S_{\text{beton}} = \frac{57575,50754}{13,2964} = 4330,1576 \text{ cm}^3$$

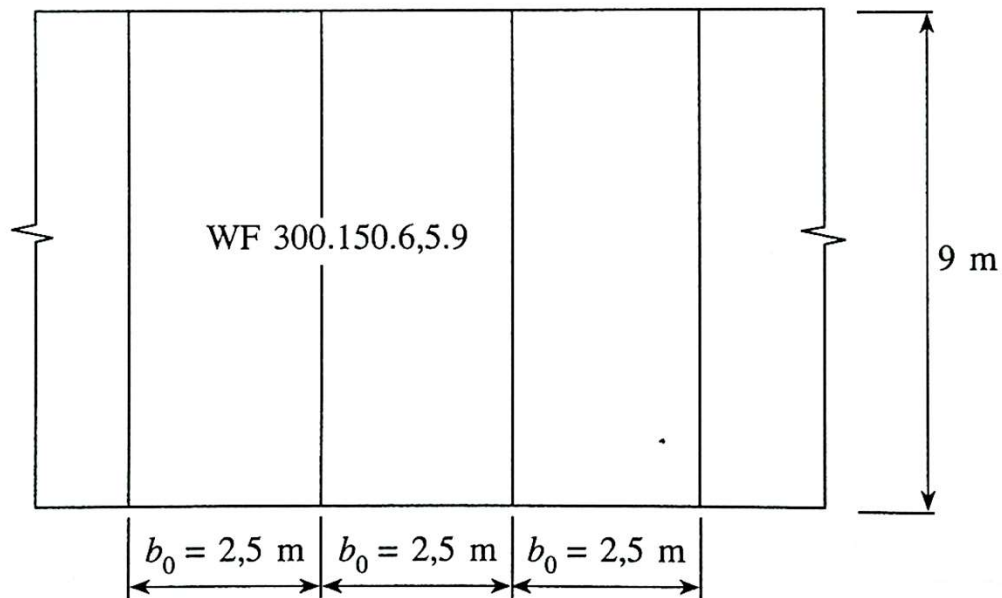
Penyelesaian

$$S_{sa} = S_{\text{baja atas}} = \frac{57575,50754}{1,2964} = 44411,8386 \text{ cm}^3$$

$$S_{sb} = S_{\text{baja bawah}} = \frac{57575,50754}{28,7036} = 2005,8636 \text{ cm}^3$$

Contoh Soal 2

Hitunglah tegangan-tegangan dari balok komposit dalam gambar berikut, jika diketahui mutu beton $f'_c = 20$ MPa dan $E_{\text{baja}} = 200.000$ MPa dan momen lentur yang bekerja



sebesar 150 kN·m.

Penyelesaian

Penyelesaian:

Mencari lebar efektif:

$$b_E = \frac{L}{4} = \frac{900}{4} = 225 \text{ cm} \left. \vphantom{b_E} \right\} b_E = 225 \text{ cm}$$

$$b_E = b_0 = 250 \text{ cm}$$

Menentukan nilai n :

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{20} = 21.000 \text{ MPa}$$

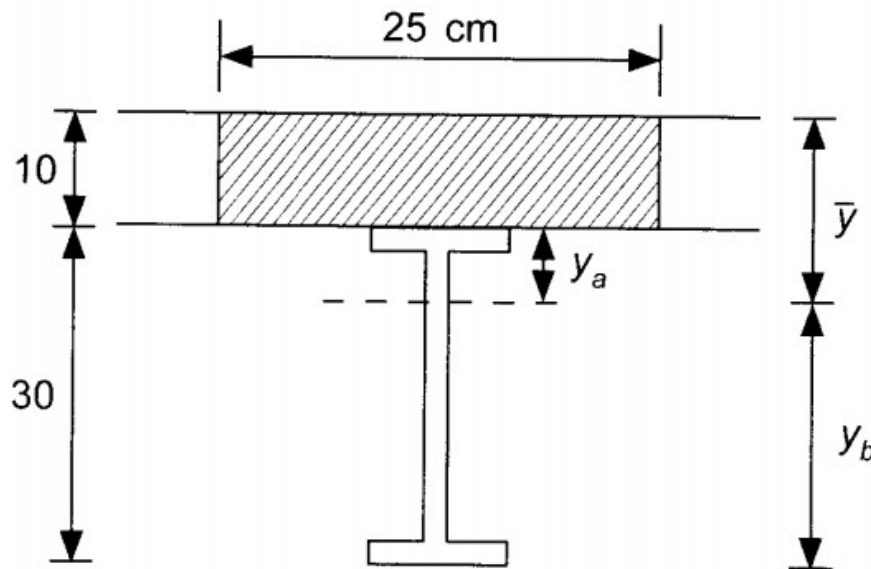
$$E_{\text{baja}} = 200.000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200.000}{21.000} = 9,52 \approx 9$$

Penyelesaian

pelat beton ditransformasi ke penampang baja, sehingga:

$$\frac{b_E}{n} = \frac{225}{9} = 25 \text{ cm}$$



$$y_a = \bar{y} - t = 8,1525 - 10$$
$$= -1,8475 \text{ cm}$$

$$y_b = t + d - \bar{y}$$
$$= 10 + 30 - 8,1525$$
$$= 31,8475 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Menentukan lokasi sumbu netral:

	Luas Transformasi A (cm ²)	Lengan Momen y (cm)	$A.y$ (cm ³)
Pelat Beton	250	5	1250
Profil WF	46,78	25	1169,5
	296,78		2419,5

$$\bar{y} = \frac{\sum A.y}{\sum A} = \frac{2419,5}{296,78} = 8,1525 \text{ cm} \quad (\text{diukur dari bagian atas pelat})$$

Penyelesaian

Momen inersia penampang selanjutnya dihitung dengan menggunakan teori sumbu sejajar:

	A (cm ²)	y (cm)	I_o (cm ⁴)	d (cm)	$I_o + Ad^2$ (cm ⁴)
Pelat Beton	250	5	2083,3	3,1525	4567,864
Profil WF	46,78	25	7210	16,8475	20487,954
				$I_{tr} =$	25055,818

Tegangan pada serat atas baja:

$$f_{sa} = \frac{M \times y_a}{I_{tr}} = \frac{150 \times 10^6 \times 18,475}{25055,818 \times 10^4} = 11,06 \text{ MPa} \quad (\text{tarik})$$

(bagian atas baja terletak di bawah sumbu netral, sehingga f_{sa} adalah tegangan tarik)

Penyelesaian

Tegangan pada serat bawah baja:

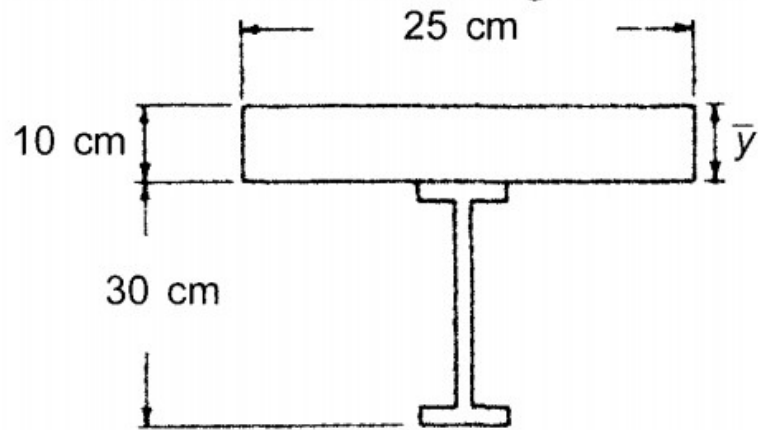
$$f_{sb} = \frac{M \times y_b}{I_{tr}} = \frac{150 \times 10^6 \times 318,475}{25055,818 \times 10^4} = 190,66 \text{ MPa (tarik)}$$

Tegangan pada serat atas beton:

$$f_c = \frac{M \times \bar{y}}{n \times I_{tr}} = \frac{150 \times 10^6 \times 81,525}{9 \times 25055,818 \times 10^4} = 5,42 \text{ MPa (tekan)}$$

Penyelesaian

Jika beton diasumsikan tidak memikul tegangan tarik, beton di bawah sumbu netral harus diabaikan. Perhitungan sumbu netral diulangi lagi sebagai berikut:



	A	y	$A.y$
Beton	$25.\bar{y}$	$\bar{y}/2$	$12,5.\bar{y}^2$
Profil	46,78	25	1169,5

Penyelesaian

$$\bar{y} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{12,5\bar{y}^2 + 1169,5}{25\bar{y} + 46,78}$$

$$\bar{y}(25\bar{y} + 46,78) = 12,5\bar{y}^2 + 1169,5$$

$$25\bar{y}^2 + 46,78\bar{y} = 12,5\bar{y}^2 + 1169,5$$

$$12,5\bar{y}^2 + 46,78\bar{y} - 1169,5 = 0$$

$$\bar{y} = 7,98 \text{ cm}$$

Momen inersia penampang:

$$I_{tr} = \frac{1}{3}(25)(7,98)^3 + 7210 + 46,78(25 - 7,98)^2 = 24995,996 \text{ cm}^4$$

Penyelesaian

Tegangan-tegangan pada penampang:

$$f_{sa} = \frac{150 \times 10^6 \times (100 - 79,8)}{24995,996 \times 10^4} = 12,12 \text{ MPa} \quad (\text{tarik})$$

$$f_{sb} = \frac{150 \times 10^6 \times (300 + 100 - 79,8)}{24995,996 \times 10^4} = 192,15 \text{ MPa} \quad (\text{tarik})$$

$$f_c = \frac{150 \times 10^6 \times 79,8}{9 \times 24995,996 \times 10^4} = 5,32 \text{ MPa} \quad (\text{tekan})$$

Perbedaan hasil analisis pertama dan kedua tidak terlalu besar, sehingga dalam prakteknya perhitungan kembali letak sumbu netral tidak terlalu perlu dilakukan.

Sistem Pelaksanaan Komponen Struktur Komposit

Metode pelaksanaan suatu komponen struktur komposit (khususnya untuk komponen struktur lentur), secara umum dapat dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya tumpuan sementara (perancah).

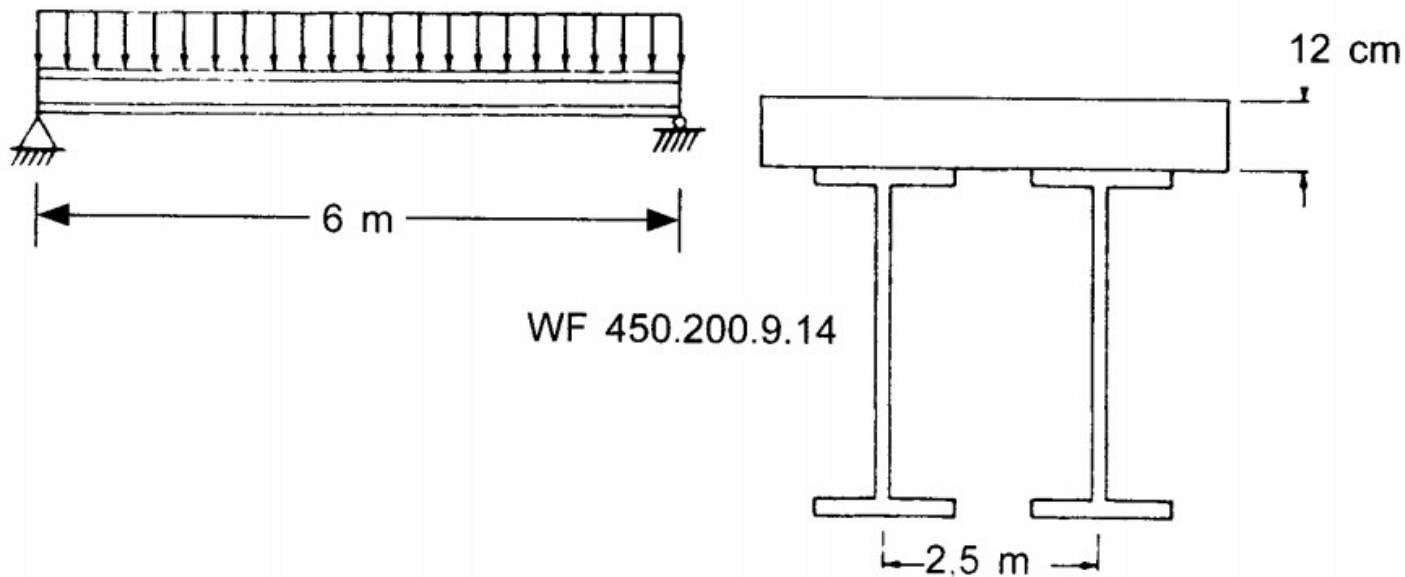
Jika tumpuan sementara tidak digunakan (*unshored*) maka profil baja akan berperilaku sebagai penumpu dari bekisting pelat beton, selama beton belum mengeras. Dalam tahap ini, balok baja harus mampu memikul beban-beban yang meliputi berat sendiri, berat bekisting pelat serta berat beton yang masih belum mengeras. Setelah pelat beton mengeras maka aksi komposit akan mulai bekerja, sehingga semua beban layan yang ada (meliputi beban mati dan hidup) akan dipikul oleh komponen struktur komposit.

Sistem Pelaksanaan Komponen Struktur Komposit

Sistem pelaksanaan yang lain adalah dengan menggunakan tumpuan sementara (*shored*) selama pelat beton belum mengeras. Tumpuan sementara ini akan memikul berat dari profil baja, bekisting pelat serta beton yang belum mengeras. Dengan digunakannya tumpuan sementara akan dapat mengurangi tegangan yang timbul pada profil baja selama proses konstruksi. Setelah beton mengeras, perancah dilepas dan beban-beban layan dipikul melalui aksi komposit baja dan pelat beton.

Contoh Soal 3

Diketahui suatu penampang komposit dengan jarak antar balok 2,5 m. Mutu beton yang digunakan adalah $f'_c = 20$ MPa dan mutu baja BJ 41. Beban hidup yang bekerja sebesar 500 kg/m^2 . Hitunglah tegangan-tegangan yang terjadi pada penampang untuk sistem pelaksanaan tanpa perancah (*unshored*) dan untuk sistem pelaksanaan dengan perancah (*shored*)!



Penyelesaian

JAWAB:

Menentukan lebar efektif, b_E , diambil nilai terkecil dari:

$$\left. \begin{array}{l} b_E = L/4 = 600/4 = 150 \text{ cm} \\ b_E = b_o = 250 \text{ cm} \end{array} \right\} b_E = 150 \text{ cm}$$

Menentukan nilai n :

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{20} = 21000 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200000}{21000} \approx 9$$

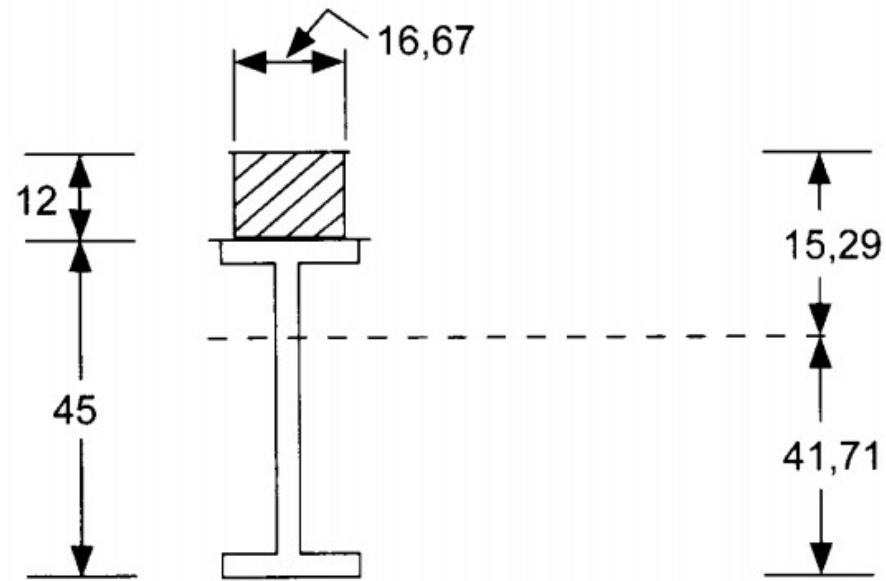
$$\text{lebar efektif ekivalen} = \frac{b_E}{n} = \frac{150}{9} = 16,67 \text{ cm}$$

Penyelesaian

Menentukan letak garis netral:

	Luas Transformasi A (cm ²)	Lengan Momen y (cm)	$A.y$ (cm ³)
Pelat Beton	200,04	6	1200,24
Profil WF	96,76	34,5	3338,22
	296,80		4538,46

Penyelesaian



$$\bar{y} = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{4538,46}{296,80} = 15,29 \text{ cm}$$

Penyelesaian

$$I_{tr} = 33500 + 96,76(34,5 - 15,29)^2 + \frac{1}{12}(16,67)(12)^3 + 200,04(15,29 - 6)^2$$
$$= 88871,524 \text{ cm}^4$$

$$S_c = \frac{88871,524}{15,29} = 5812,39 \text{ cm}^3$$

$$S_{sb} = \frac{88871,524}{41,71} = 2130,7 \text{ cm}^3$$

$$S_{sa} = \frac{88871,524}{15,29 - 12} = 27012,62 \text{ cm}^3$$

Penyelesaian

a. Pemeriksaan tegangan untuk sistem pelaksanaan tanpa perancah (*unshored*)
Perhitungan beban konstruksi:

1. berat profil WF = 76 kg/m
 2. berat pelat beton = $0,12(2400)(2,5)$ = 720 kg/m
 3. berat bekisting = $50(2,5)$ = 125 kg/m
- Total = 921 kg/m

Tahap I: pelat beton belum mengeras, beban seluruhnya dipikul oleh profil baja

$$M_{\max} = \frac{1}{8}(921)(6)^2 = 4144,5 \text{ kg.m} = 4,1445 \text{ ton.m} = 4,1445 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$f_{sa} = \frac{M_{\max}}{S_x} = \frac{4,1445 \times 10^7}{1490 \times 10^3} = 27,815 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = f_{sa} = 27,815 \text{ MPa}$$

Penyelesaian

Tahap II: beton sudah mengeras, beban hidup 500 kg/m^2 dipikul oleh penampang komposit. Beban hidup yang harus dipikul = $500(2,5) = 1250 \text{ kg/m}$

$$M_{\max} = \frac{1}{8}(1250)(6)^2 = 5625 \text{ kg.m} = 5,625 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

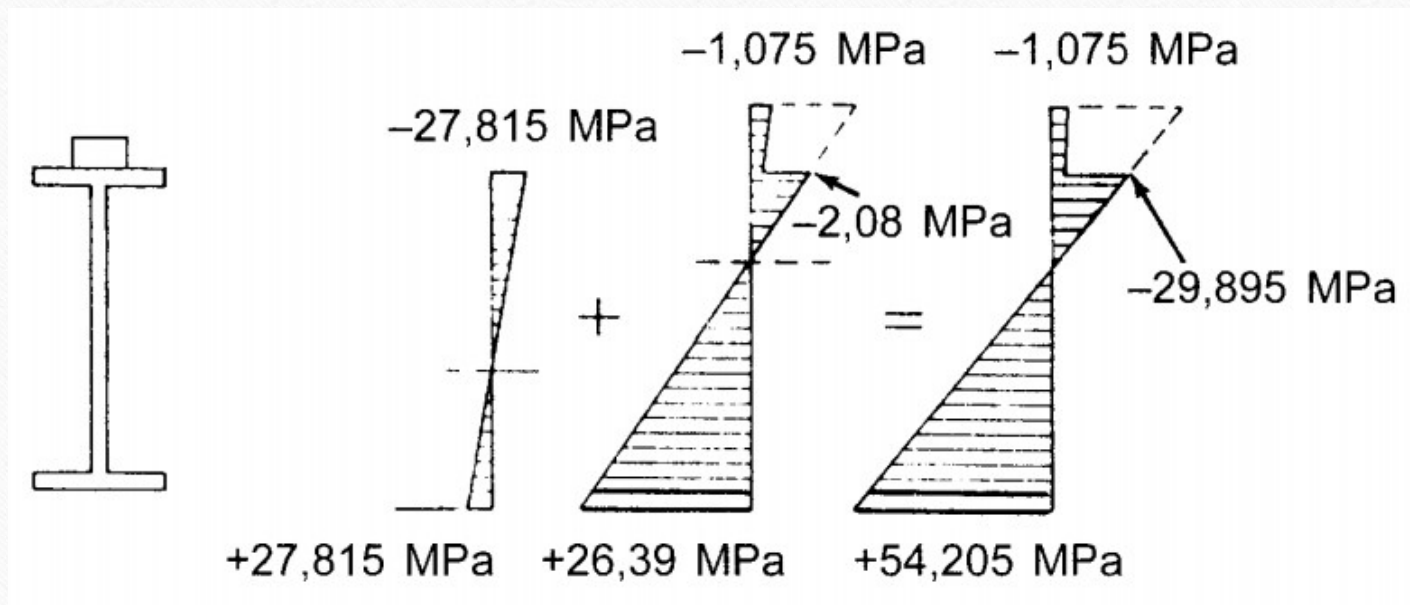
Tambahan tegangan yang terjadi:

$$f_c = \frac{M_{\max}}{n \times S_c} = \frac{5,625 \times 10^7}{9 \times 5812,39 \times 10^3} = - 1,075 \text{ MPa}$$

$$f_{sa} = \frac{M_{\max}}{S_{sa}} = \frac{5,625 \times 10^7}{27012,62 \times 10^3} = - 2,08 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{\max}}{S_{sb}} = \frac{5,625 \times 10^7}{2130,7 \times 10^3} = 26,39 \text{ MPa}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

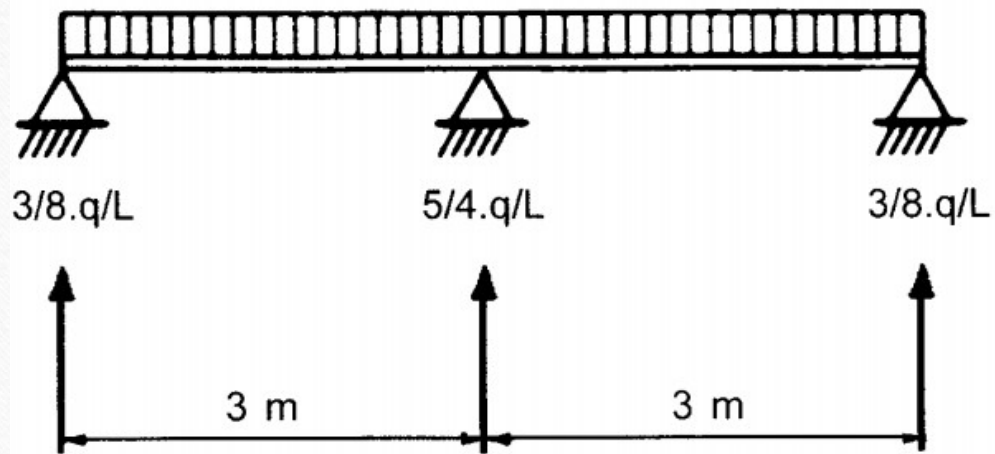
- b. Pemeriksaan tegangan untuk sistem pelaksanaan dengan perancah (*shored*) di tengah bentang

Tahap I: balok memikul 921 kg/m

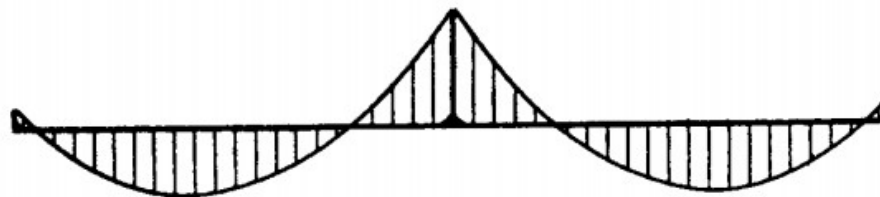
$$M_{\max}^+ = \frac{9}{128} \cdot q \cdot L^2 = \frac{9}{128} (921)(3)^2 = 582,82 \text{ kg.m} = 0,58282 \cdot 10^7 \text{ N.mm}$$

$$M_{\max}^- = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 = \frac{1}{8} (921)(3)^2 = 1036,125 \text{ kg.m} = 1,036125 \cdot 10^7 \text{ N.mm}$$

Penyelesaian



$$M^+ = \frac{9}{128} \cdot qL^2$$



$$M^- = 1,8 \cdot qL^2$$

$$\text{Pada } M^+ : \quad -f_{sa} = f_{sb} = \frac{0,58282 \times 10^7}{1490 \times 10^3} = 3,91 \text{ MPa}$$

$$\text{Pada } M^- : \quad f_{sa} = -f_{sb} = \frac{1,036125 \times 10^7}{1490 \times 10^3} = 6,95 \text{ MPa}$$

Tahap II: pelat beton sudah mengeras penunjang di tengah dilepaskan
Pada tengah bentang timbul momen lentur akibat R_B dan beban hidup, yang besarnya:

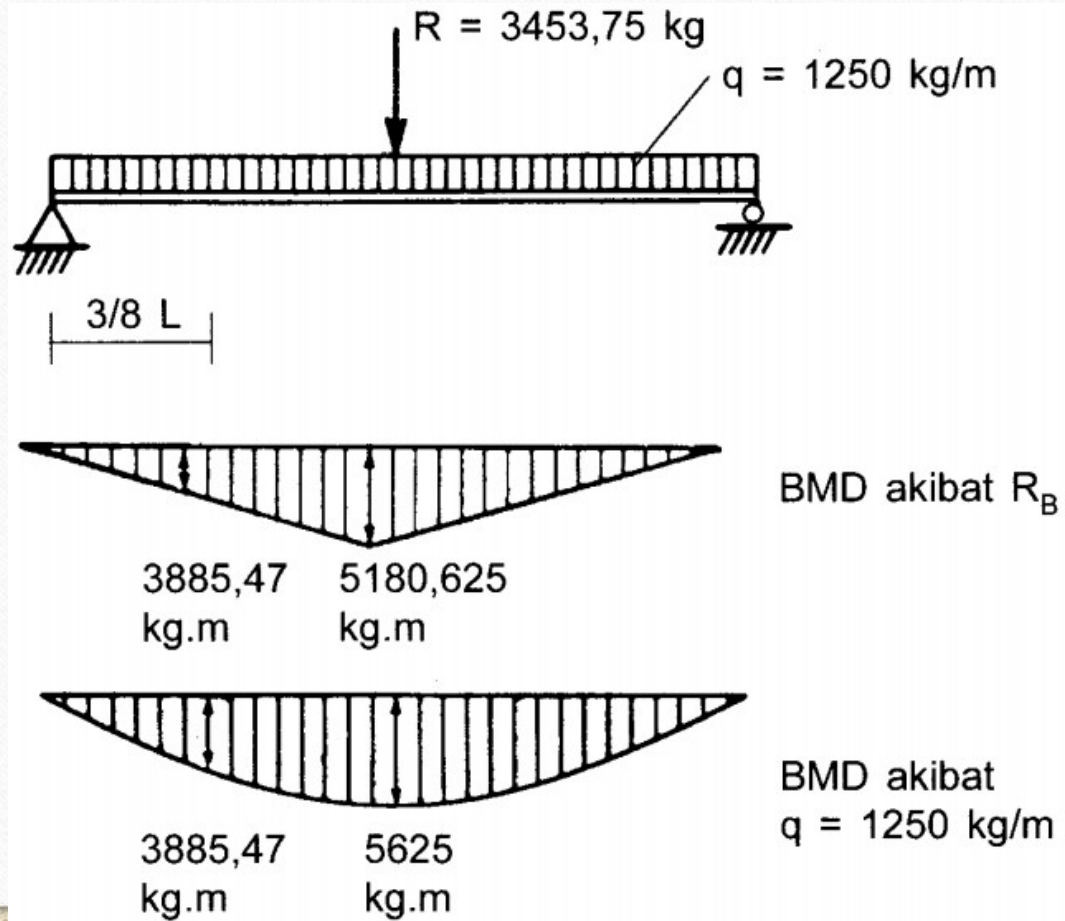
$$M^+ = 5180,625 + 5625 = 10805,625 \text{ kg.m} = 10,805625 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$f_c = \frac{M}{n \times S_c} = \frac{10,805625 \times 10^7}{9 \times 5812,39 \times 10^3} = - 2,06 \text{ MPa}$$

$$f_{sa} = \frac{M}{S_{sa}} = \frac{10,805625 \times 10^7}{27012,62 \times 10^3} = - 4 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M}{S_{sb}} = \frac{10,805625 \times 10^7}{2130,7 \times 10^3} = + 50,71 \text{ MPa}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

Pada $3/8L$ dari tepi kiri timbul momen sebesar:

$$M^* = 3885,47 + 3427,73 = 7313,2 \text{ kg.m} = 7,3132 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

$$f_c = \frac{M}{n \times S_c} = \frac{7,3132 \times 10^7}{9 \times 5812,39 \times 10^3} = - 1,39 \text{ MPa}$$

$$f_{sa} = \frac{M}{S_{sa}} = \frac{7,3132 \times 10^7}{27012,62 \times 10^3} = - 2,71 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M}{S_{sb}} = \frac{7,3132 \times 10^7}{2130,7 \times 10^3} = + 34,32 \text{ MPa}$$

Penyelesaian

Tegangan total:

	Pada tengah bentang	Pada $3/8L$ dari kiri
f_c	- 2,06 MPa	- 1,39 MPa
f_{sa}	+ 6,95 - 4 = + 2,95 MPa	- 3,91 - 2,71 = - 6,62 MPa
f_{sb}	- 6,95 + 50,71 = + 54,62 MPa	+ 3,91 + 34,32 = + 38,23 MPa

Kuat Lentur Nominal

Kuat Lentur Nominal

Kuat lentur nominal dari suatu komponen struktur komposit (untuk momen positif), menurut SNI 03-1729-2002 pasal 12.4.2.1 ditentukan sebagai berikut:

a. Untuk $\frac{b}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_{yf}}}$

M_n kuat momen nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit

$$\phi_b = 0,85$$

b. Untuk $\frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E}$

M_n kuat momen nominal yang dihitung berdasarkan superposisi tegangan-tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh tumpuan sementara (perancah)

$$\phi_b = 0,90$$

Kuat Lentur Nominal

Kuat Lentur Nominal

Kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis, dapat dikategorikan menjadi dua kasus sebagai berikut:

1. Sumbu netral plastis jatuh pada pelat beton

Dengan mengacu pada Gambar 12.5, maka besar gaya tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E \quad 12.12$$

Gaya tarik T pada profil baja adalah sebesar:

$$T = A_s \cdot f_y \quad 12.13$$

Dari keseimbangan gaya $C = T$, maka diperoleh:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E} \quad 12.14$$

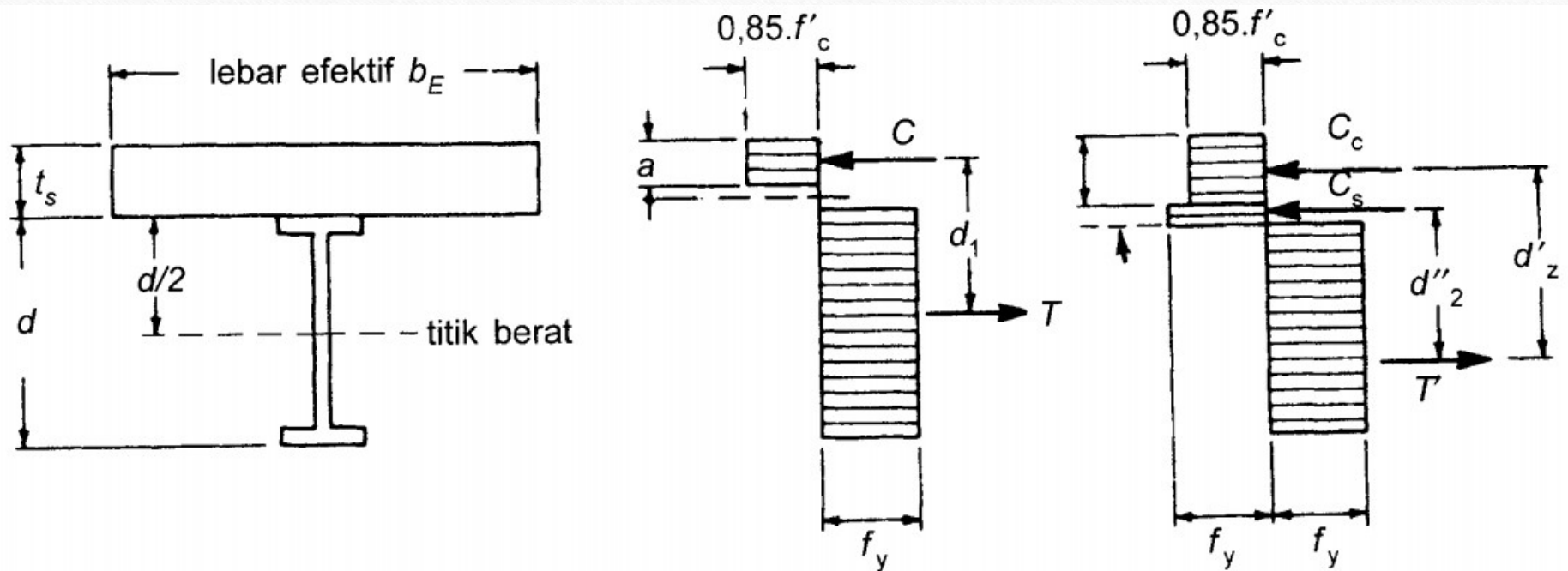
Kuat Lentur Nominal

Kuat lentur nominal dapat dihitung dari Gambar 12.5.b:

$$M_n = C \cdot d_1$$

$$\text{Atau} \quad = T \cdot d_1 = A_s \cdot f_y \cdot \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right)$$

Kuat Lentur Nominal



Gambar 12.5 Kuat Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi Tegangan Plastis

Kuat Lentur Nominal

Jika dari hasil perhitungan persamaan 12.14 ternyata $a > t_s$, maka asumsi harus diubah. Hasil ini menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat untuk mengimbangi gaya tarik yang timbul pada profil baja.

2. Sumbu netral plastis jatuh pada profil baja

Apabila ke dalam blok tegangan beton, a , ternyata melebihi tebal pelat beton, maka distribusi tegangan dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 12.5.c. Gaya tekan, C_c , yang bekerja pada beton adalah sebesar:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s \quad 12.17$$

Dari keseimbangan gaya, diperoleh hubungan:

$$T' = C_c + C_s \quad 12.18$$

Kuat Lentur Nominal

Besarnya T' sekarang lebih kecil daripada $A_s \cdot f_y$, yaitu:

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s \quad 12.19$$

Dengan menyamakan persamaan 12.18 dan 12.19 diperoleh:

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - C_c}{2} \quad 12.20$$

Atau dengan mensubstitusikan persamaan 12.17, diperoleh bentuk:

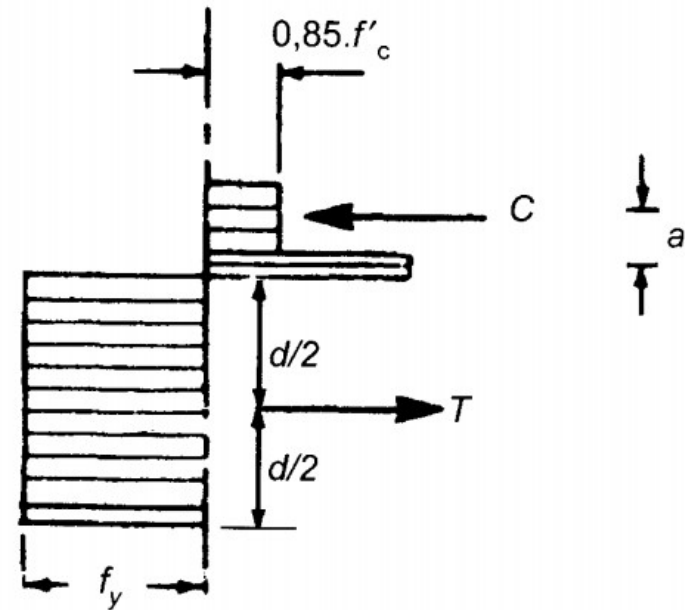
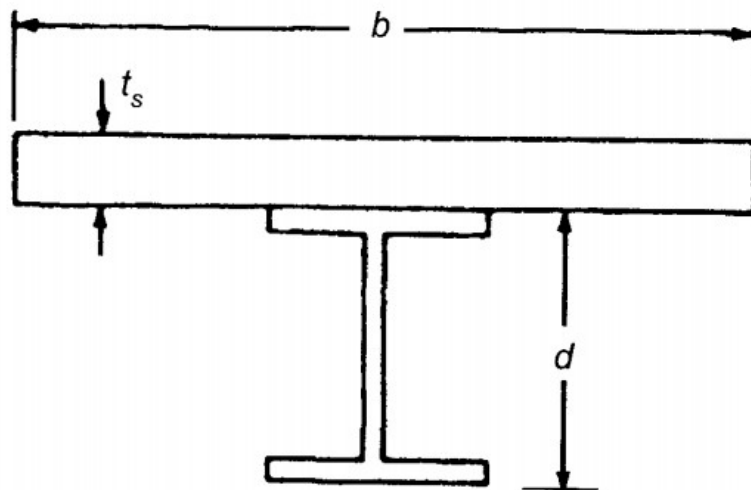
$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s}{2} \quad 12.21$$

Kuat lentur nominal diperoleh dengan memperhatikan Gambar 12.5.c:

$$M_n = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \quad 12.22$$

Contoh Soal 4

Hitunglah kuat lentur rencana dari komponen struktur balok komposit pada contoh 12.2. Asumsikan terdapat cukup penghubung geser sehingga balok dapat berperilaku sebagai komponen struktur komposit penuh.



Penyelesaian

Tentukan gaya tekan C dalam beton (gaya geser horizontal pada pertemuan antara **beton** dan baja). Karena balok diasumsikan berperilaku sebagai komposit penuh, maka nilai diambil dari nilai terkecil antara $A_s \cdot f_y$ dan $0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$:

$$A_s \cdot f_y = 4678(240) = 1122720 \text{ N}$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot A_c = 0,85(20)(100)(2250) = 3825000 \text{ N}$$

sehingga $C = 1122720 \text{ N}$

Penyelesaian

Gaya tekan resultan dapat diekspresikan sebagai:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$$

$$\text{Atau } a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1122720}{0,85 \times 20 \times 2250} = 29,3521 \text{ mm}$$

Gaya tekan resultan C terletak pada jarak $a/2$ dari serat atas beton. Gaya tarik resultan T terletak pada titik berat profil WF, lengan momen dari momen kopel C dan T adalah sebesar:

$$y = d/2 + t - a/2 = (300/2) + 100 - (29,3521/2) = 235,32395 \text{ mm}$$

Penyelesaian

Kuat lentur nominal dari komponen struktur komposit tersebut:

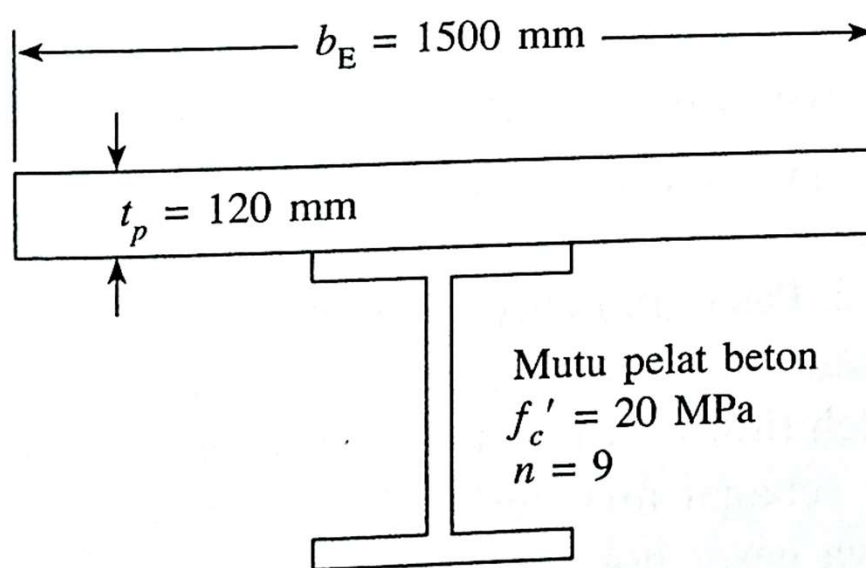
$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 1122720(235,32395) = 264202905,1 \text{ Nmm}$$

Kuat lentur rencana:

$$\begin{aligned}\phi_b M_n &= 0,85(264202905,1) \\ &= 224572469,3 \text{ Nmm} = 22,457 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Contoh Soal 5

Hitunglah kuat lentur nominal M_n dari penampang komposit berikut:



Penyelesaian

Penyelesaian

Penyelesaian:

Asumsikan sumbu netral plastis jatuh di pelat beton, sehingga:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E} = \frac{13.440 \times 240}{0,85 \times 20 \times 1500}$$

$$= 126,49 \text{ mm} > t_p (=120 \text{ mm})$$

Penyelesaian

Karena tebal pelat beton hanya 12 cm, maka pelat beton tidak dapat mengimbangi gaya tarik $A_s \cdot f_y$ yang timbul pada baja, sehingga lokasi sumbu netral plastis akan jatuh pada profil baja (kasus 2).

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s = 0,85(20)(1500)(120) = 3060000 \text{ N}$$

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s}{2} = \frac{(13440 \times 240) - 3060000}{2} = 82800 \text{ N}$$

Tinggi blok tekan pada sayap profil baja dihitung sebagai berikut:

$$d_f = \frac{C_s}{b_f \times f_y} = \frac{82800}{200 \times 240} = 1,725 \text{ mm} < t_f (= 17 \text{ mm})$$

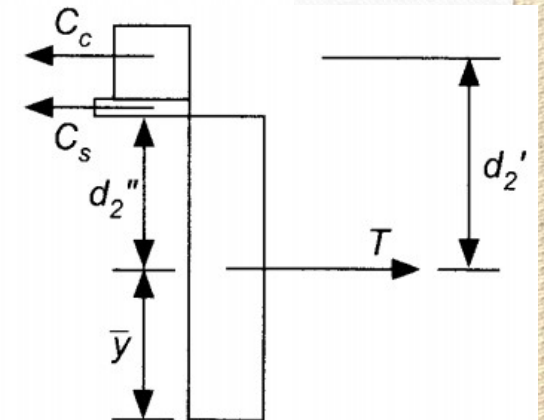
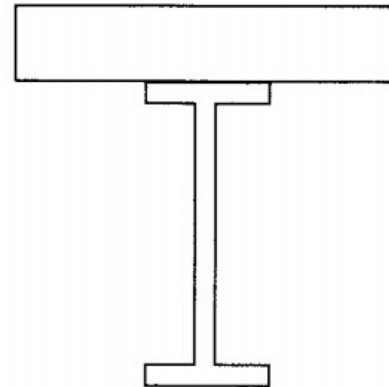
Penyelesaian

Lokasi titik berat dari bagian tarik profil baja diukur dari serat bawah profil adalah

$$\bar{y} = \frac{134,4(30) - 0,1725(20)(59,91375)}{134,4 - 0,1725(20)} = 29,21 \text{ cm}$$

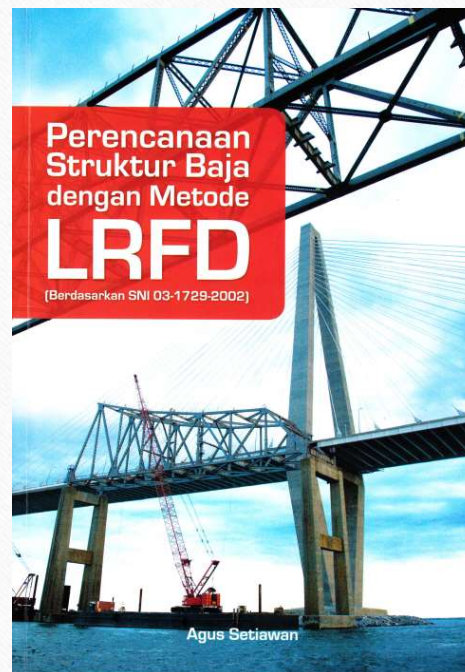
Kuat lentur nominal

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \\ &= 3060000(367,9) + 82800(307) \\ &= 1151193600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Referensi

- Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Agus Setiawan



Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 3 – Komponen Struktur Komposit Bagian 2

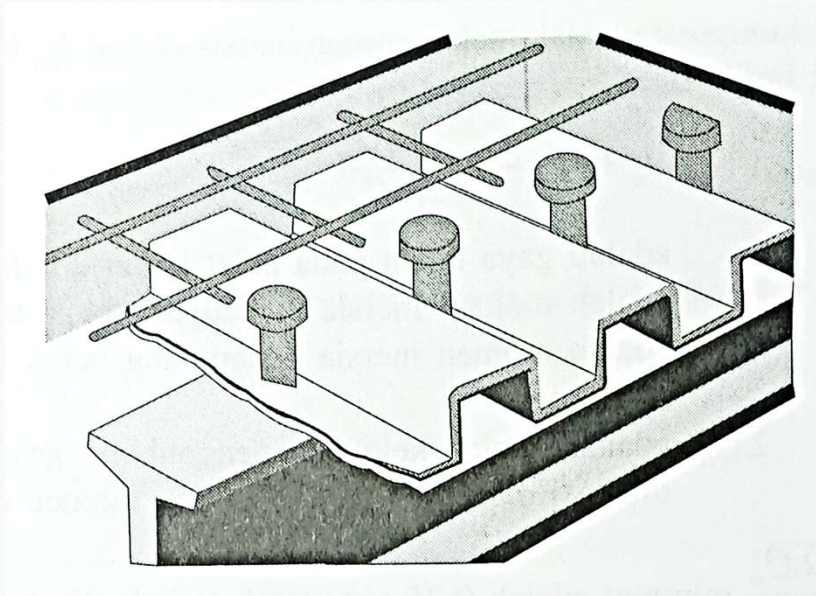
Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Shear Connector

Shear Connector

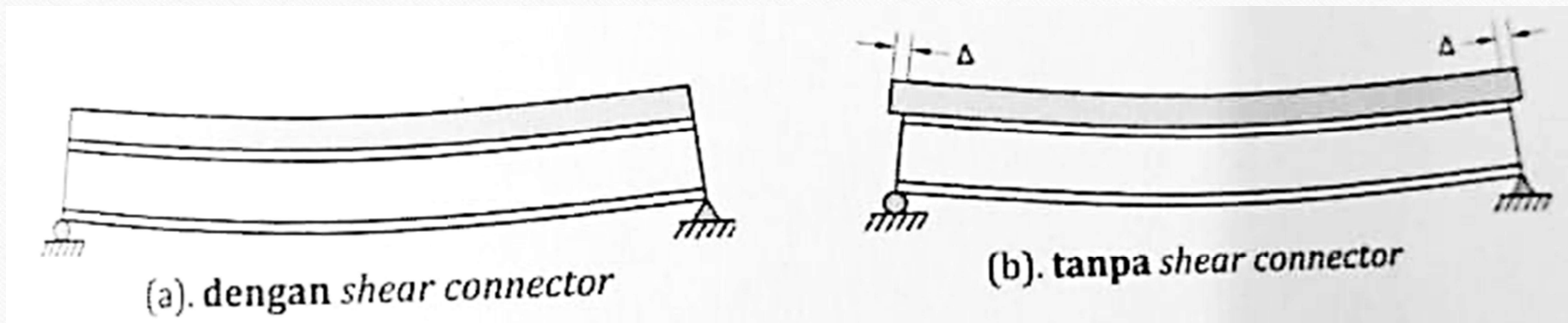


Gambar 4. 1 Shear Connector pada balok komposit

Pada gambar disamping memperlihatkan komponen penting pada balok komposit yaitu **Shear Stud** atau disebut juga **Shear Connector** atau **Steel Anchor**.

Fungsinya untuk menahan gaya geser yang menyebabkan pelat beton diatas profil baja tidak bergeser satu sama lain. Jika tidak diberikan shear connector akan terjadi pergeseran antara pelat beton dan balok baja. Adanya pergeseran tersebut menunjukkan bahwa keduanya (pelat beton dan baja) tidak lagi menjadi satu kesatuan, sehingga tidak bekerja lagi sebagai balok komposit. Balok profil baja bekerja sendiri, sedangkan pelat beton bertulang diatasnya hanya bekerja sebagai beban saja.

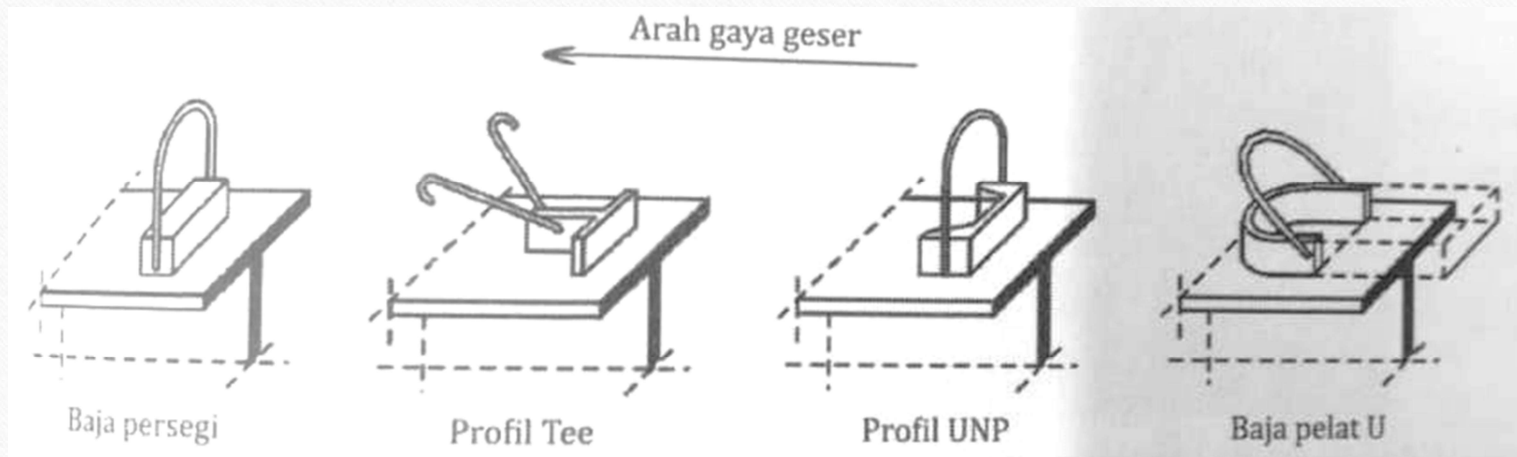
Shear Connector



Gambar 4. 2 Perilaku pelat beton di atas profil baja (balok)

Shear Connector

Pada balok komposit, jenis gaya yang ditahan agar keduanya (beton dan baja) bisa menjadi satu kesatuan adalah **Gaya Geser**. Jika mengacu fungsinya, bisa dijumpai bermacam-macam **Steel Connector/Steel Anchor** seperti gambar berikut ini:



Gambar 4. 3 Macam-macam Steel Connector / Steel Anchor.

Shear Connector

Ukuran **Shear stud** yang biasa dipakai adalah shear stud **$\phi 19$ mm ; $\phi 22$ mm dan $\phi 25$ mm.**

Diameter lebih kecil, **$\phi 13$ mm** dan **$\phi 16$ mm** biasanya digunakan untuk konstruksi beton pracetak.

Bahan materialnya terdiri dari baja kadar karbon rendah dengan kuat tarik minimum **Fu 60 ksi** atau **Fu 450 Mpa**.

Penentuan diameter stud yang dapat dipakai, tergantung tebal pelat dasar, yaitu **$\phi \text{ stud} \leq 2.5 \times \text{tebal pelat dasar}$** untuk pengelasan. Boleh lebih besar dari batasan tersebut jika stud dilasangkan pada bagian pelat sayap yang tepat diatas pelat badannya. Panjang stud dari pelat dasar sampai ujungnya **$L \text{ stud} \geq 4 \times \phi \text{ stud}$** .

Shear Connector

Persyaratan mengenai jarak antar penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.6 yang antara lain mensyaratkan:

1. selimut lateral minimum = 25 mm, kecuali ada dek baja
2. diameter maksimum = $2,5 \times$ tebal flens profil baja
3. jarak longitudinal minimum = $6 \times$ diameter penghubung geser
4. jarak longitudinal maksimum = $8 \times$ tebal pelat beton
5. jarak minimum dalam arah tegak lurus sumbu longitudinal = $4 \times$ diameter
6. jika digunakan dek baja gelombang, jarak minimum penghubung geser dapat diperkecil menjadi $4 \times$ diameter

Shear Connector

Kuat geser nominal *shear-stud* tunggal, Q_n yang tertanam pada pelat beton **solid** atau pelat beton **komposit dengan dek-baja**, dapat dihitung memakai rumus baru AISC (2010) sebagai berikut.

$$Q_n = 0.5A_{sa} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \dots\dots\dots (18-1)$$

dimana

A_{sa} luas penampang *shear stud* (mm²)

E_c modulus elastisitas beton $0.043w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$ atau $4700\sqrt{f'_c}$ (MPa) untuk beton normal

F_u kuat tarik minimum *shear stud* (MPa)

Shear Connector

R_g dan R_p adalah parameter untuk memasukkan pengaruh pelat beton komposit dengan dek-baja, yang diatur agar hasil desainnya setara dengan *code* internasional lain. Maklum rumusan *code* lain mirip, hanya ada reduksi faktor $\phi = 0.8$ (di Kanada), atau bahkan lebih rendah $\phi = 0.6$ (*Eurocode 4*), lihat *Commentary AISC (2010)*.

Selanjutnya besarnya parameter R_g dan R_p adalah sebagai berikut

$R_g = 1.00$ untuk kondisi

- (a). Pelat beton bertulang biasa tanpa dek-baja. *Shear stud* dilas langsung pada pelat sayap dari profil baloknya.
- (b). Pelat beton komposit dengan dek-baja, arah rusuk tegak lurus balok. Hanya satu *shear stud* dilas di bagian rusuk.
- (c). Pelat beton komposit dengan dek-baja, arah rusuk sejajar profil balok. Rusuk memenuhi kriteria rasio lebar dibagi tinggi ≥ 1.5 dan *shear stud* dilas di bagian tersebut.

Shear Connector

$R_g = 0.85$ untuk kondisi

- (a). Pelat beton komposit dengan dek-baja, yang arah rusuk tegak lurus profil balok. Selanjutnya ada dua *shear stud* yang dilas di bagian rusuk tersebut.
- (b). Pelat beton komposit dengan dek-baja, arah rusuk sejajar balok. Rusuk memenuhi kriteria rasio lebar dibagi tinggi kurang dari 1.5 dan *shear-stud* dilas di bagian tersebut.

$R_g = 0.70$ untuk kondisi

Pelat beton komposit dengan dek-baja, arah rusuk tegak lurus balok. Ada 3 atau lebih *shear stud* yang dilas di bagian rusuk.

Shear Connector

$R_p = 0.75$ untuk kondisi : (nilainya berbeda dibanding AISC 2005)

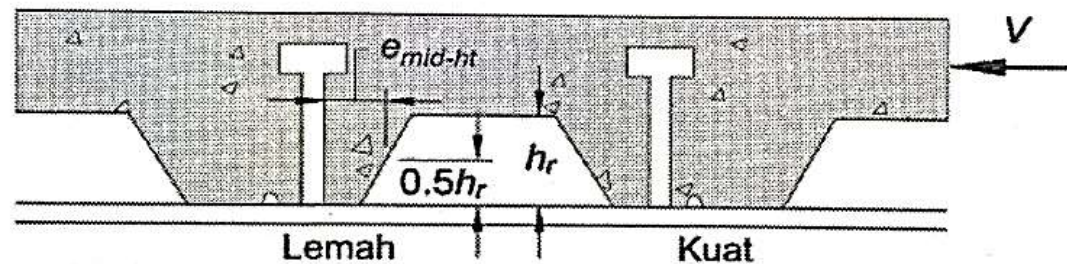
- (a). Pelat beton bertulang biasa tanpa dek-baja. *Shear stud* dilas langsung pada pelat sayap dari profil baloknya.
- (b). Pelat beton komposit dengan dek-baja, yang arah rusuknya tegak lurus profil balok, dan mempunyai tebal beton arah lemah $e_{\text{mid-ht}} \geq 50 \text{ mm}$;
- (c). Pelat beton komposit dengan dek-baja, arah rusuk sejajar profil balok.

$R_p = 0.6$ untuk kondisi:

Pelat beton komposit dengan dek-baja, arah rusuk tegak lurus balok, dan tebal beton arah lemah $e_{\text{mid-ht}} < 50 \text{ mm}$;

Shear Connector

Shear stud pelat komposit dengan dek-baja, yang orientasi rusuknya tegak lurus balok, maka luas penampang beton yang memikul gaya geser menjadi berkurang karena adanya rongga. Kondisi itu mempengaruhi kuat geser dari *stud* yang dipasang.



Gambar 6. 95 Pengaruh orientasi rusuk dek-baja tegak lurus profil balok (AISC 2010)

Shear Connector

Pada dek-baja modern (pelat baja tipis mutu tinggi) versi tertentu, ada rusuk kecil di tengah, untuk pengaku. Akibatnya *shear-stud* tidak bisa dipasang tepat di tengah, agak bergeser. Itu menyebabkan kuat geser stud di arah tertentu menjadi berkurang, ada arah lemah dan kuat (Gambar 6.95). Parameter $e_{\text{mid-ht}}$ digunakan untuk membatasi kapan dianggap kuat dan kapan lemah, yaitu $e_{\text{mid-ht}} \cong 50 \text{ mm}$.

Shear Connector

Ketentuan tentang R_g dan R_p dapat ditabulasikan sebagai berikut.

Tabel 6. 28 Bantuan praktis menentukan R_g dan R_p

Kondisi	R_g	R_p
Tanpa dek-baja	1.0	0.75
Memakai dek-baja yang rusuknya paralel dengan arah profil balok <ul style="list-style-type: none">• $w_r/h_r \geq 1.5$• $w_r/h_r < 1.5$	1.0 0.85**	0.75 0.75
Memakai dek-baja yang rusuknya tegak lurus profil balok. Jumlah <i>shear stud</i> pada setiap rusuknya <ul style="list-style-type: none">• 1 (satu)• 2 (dua)• 3 (tiga) atau lebih	1.0 0.85 0.7	0.6+ 0.6+ 0.6+

Catatan :

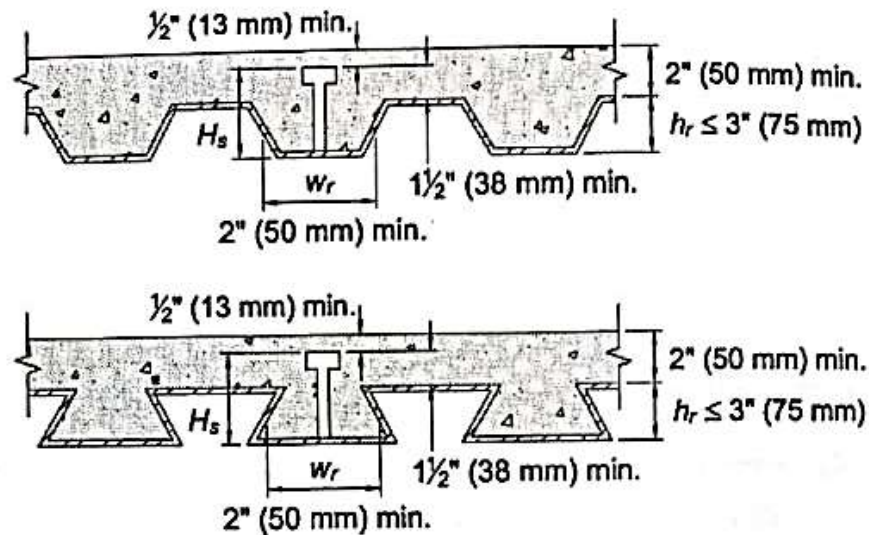
w_r lebar rusuk (*rib*) dan h_r tinggi rusuk

** *shear-stud* tunggal

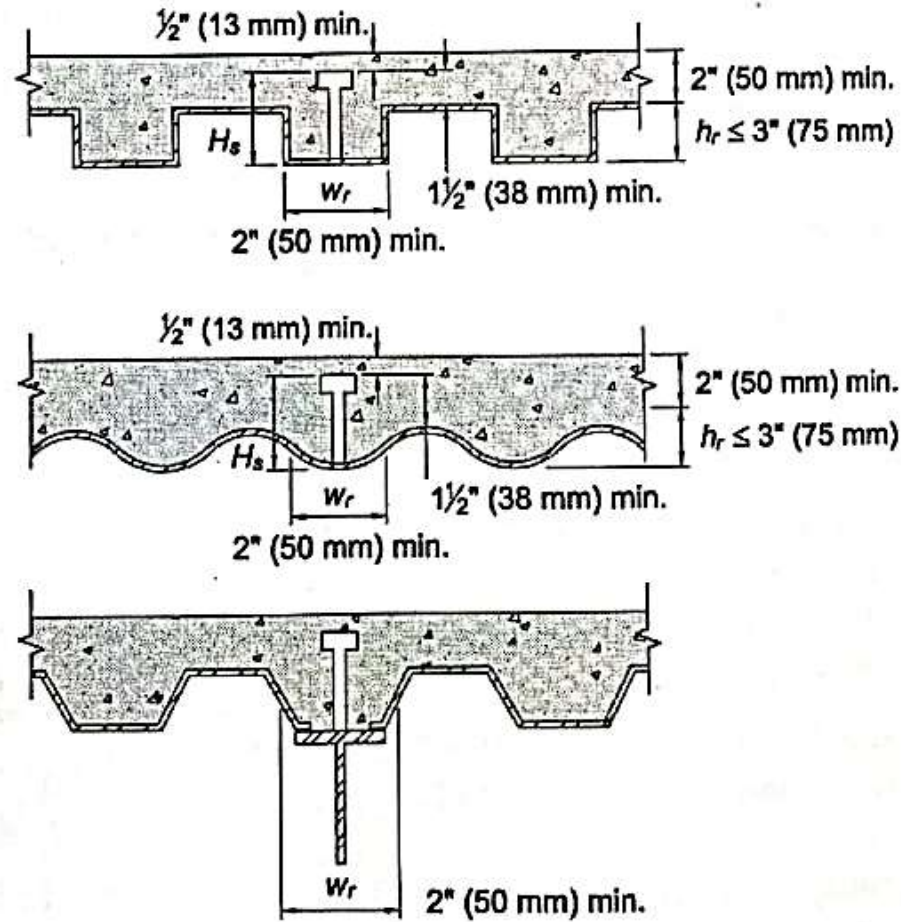
+ jika $e_{\text{mid-ht}} \geq 50$ mm maka $R_p = 0.75$

Shear Connector

Rumus untuk memprediksi kuat geser *shear-stud* didasarkan dari hasil riset empiris. Akurasinya tergantung kesamaan detail rencana dengan detail sampel uji empiris yang dijadikan rujukan. Jadi untuk pelat beton komposit dengan dek-baja, maka penempatan *shear-stud* harus memenuhi ketentuan minimum sebagai berikut.



Shear Connector



Gambar 6. 96 Persyaratan pendetailan *shear-stud* dengan dek-baja (AISC 2010)

Shear Connector

Pemasangan *shear-stud* pada profil balok yang memakai dek-baja, bisa dibuat lubang terlebih dahulu, atau bisa juga langsung dilas di atasnya. Panas las yang timbul biasanya tidak sulit untuk menembus dek-baja tipis. Tetapi jika tebalnya $t \geq 1.5$ mm (lapis tunggal) atau $t \geq 1.2$ mm (lapis ganda), maka cara pemasangan dek-baja tersebut perlu mengikuti ketentuan pabrik.

Ada syarat dek-baja harus disambung ke profil baja maksimum setiap 450 mm (AISC 2010). Sambungan bisa memakai *shear-stud* yang ada, jika tidak cukup dapat ditambah las titik (*spot weld*).

Shear Connector

Menurut ketentuan I3.2d.(1) dari AISC (2010) seluruh gaya geser horizontal pada *interface* profil baja dan pelat beton harus dianggap dipikul keseluruhannya oleh angkur baja : *stud* atau *C-channel*.

Untuk balok komposit yang dapat direncanakan sebagai penampang plastis. Jumlah *stud* dihitung dari gaya geser nominal, V' , dibagi dengan kuat geser nominal stud tunggal, Q_n . Jumlah *stud* tersebut dapat dipasang secara merata (*uniform*) antara titik momen positif maksimum dan titik nol, kecuali jika terdapat beban terpusat yang besar (AISC 2010). Nilai V' dari hitungan balok komposit cara plastis di atas hasilnya tentu konservatif jika diterapkan pada perencanaan balok komposit dengan profil pelat badan non-kompak.

Shear Connector

Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 Pasal 12.6.2. Pasal ini menyatakan bahwa untuk aksi komposit di mana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya geser horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan, harus diambil sebagai nilai terkecil dari: $A_s \cdot f_y$, $0,85 \cdot f_c' \cdot A_c$ atau $\sum Q_n$. Selanjutnya kita notasikan gaya geser horizontal ini dengan V_h .

Jika besarnya V_h ditentukan oleh $A_s \cdot f_y$ atau $0,85 \cdot f_c' \cdot A_c$, maka yang terjadi adalah perilaku aksi komposit penuh, dan jumlah penghubung geser yang diperlukan antara titik momen nol dan momen maksimum adalah:

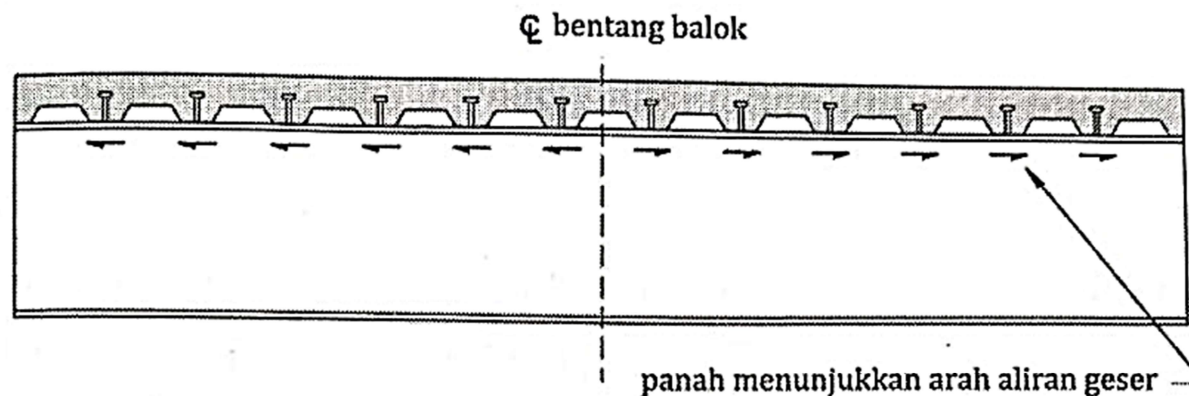
$$N_1 = \frac{V_h}{Q_n}$$

12.23

Dengan Q_n adalah kuat geser nominal satu buah penghubung geser.

Shear Connector

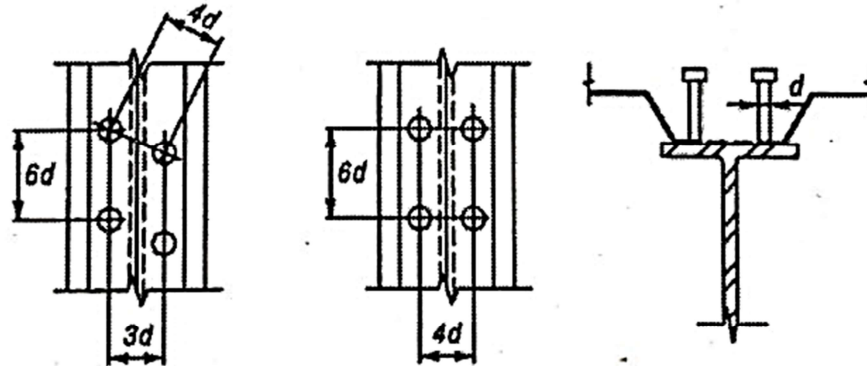
Untuk balok sederhana, perlu dua kali jumlah di atas agar terpasang lengkap, dari tumpuan kiri sampai tengah bentang, dan lanjut ke tumpuan kanan. Itu diperlukan karena arah aliran geser terhadap sumbu simetri balok, saling berlawanan (Gambar 6.97).



Gambar 6. 97 Aliran geser *shear stud* balok sederhana

Shear Connector

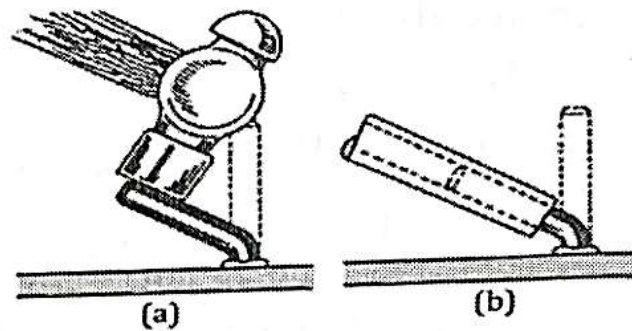
Jika diperlukan jumlah *shear-stud* yang cukup banyak, harus dipasang sedemikian sehingga jarak antar *stud* tersebut tidak kurang dari $6d$. Jika diperlukan bisa dibuat *staggering* sebagai berikut.



Gambar 6. 98 Ketentuan pemasangan jarak antar *shear-stud*

Evaluasi pemasangan *shear-stud* di lapangan dengan uji bengkok pakai palu atau pipa (Gambar 6.99). Jika terbentuk sudut $\pm 30^\circ$ dari vertikal dan sambungan las tidak rusak, dianggap kondisi baik.

Shear Connector



Gambar 6. 99 Uji pemasangan shear-stud di lapangan

Kondisi *shear-stud* yang bengkok akibat proses pengujian ini tidak perlu diluruskan lagi karena tidak mengganggu kinerja.

Shear Connector

Shear Connector dengan profil UNP

Potongan UNP (*hot-rolled*) menurut AISC (2010) dapat dipakai sebagai *shear-stud* pada pelat beton biasa, tanpa dek-baja. Kuat geser nominal *shear-connector* dengan potongan profil UNP dapat dihitung sebagai berikut

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)l_a\sqrt{f'_cE_c} \dots\dots\dots(18-2)$$

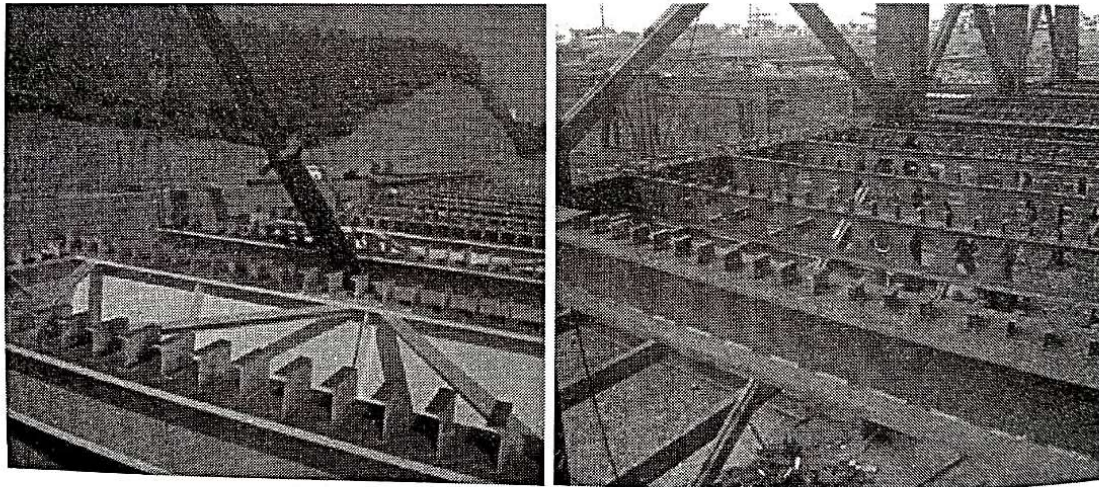
dimana

- l_a panjang potongan UNP sebagai *shear connector* (mm)
- E_c modulus elastisitas beton $0.043w_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$ atau $4700\sqrt{f'_c}$ untuk beton normal (MPa)
- t_w tebal pelat badan profil UNP (mm)
- t_f tebal pelat sayap profil UNP (mm)

Shear Connector

Potongan UNP itu sendiri disambungkan pada balok dengan cara pengelasan. Kuat rencana sambungan lasnya tidak boleh kurang dari kuat gesernya, Q_n , selain itu juga perlu diperhitungkan pengaruh eksentritas yang terjadi pada profil UNP itu sendiri.

Pemakaian profil UNP sebagai *shear-connector* juga sering dijumpai pada konstruksi jembatan atau bangunan, lihat Gambar 6.100.



Gambar 6. 100 Aplikasi profil UNP pada balok komposit (Shariati et.al. 2011)

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Telah dibahas [1] **lebar efektif pelat beton**; dan [2] *shear-stud*. Keduanya jika dapat disinerjikan dengan **balok profil I**, yang telah dibahas sebelumnya secara detail di bagian pertama bab ini, dapat dibuat sistem struktur baru yang disebut **balok komposit**.

Keunggulan balok komposit adalah terjadi peningkatan kekuatan dan kekakuan sekaligus. Jadi untuk profil *I* yang sama, dapat dihasilkan bentang balok yang lebih besar, atau untuk bentang yang sama maka beban yang dapat dipikulnya akan lebih besar. Bagi arsitek itu keuntungan, untuk spesifikasi sama, tinggi balok lebih kecil. Volume ruang yang dapat dimanfaatkan menjadi lebih besar.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Untuk perencanaan yang konservatif, perilaku komposit dianggap hanya terjadi di bagian balok yang mengalami momen positif saja. Pada balok menerus, ada bagian yang mengalami momen negatif sehingga pelat beton di bagian atas mengalami tarik, bagian tekan di bagian bawah dialami profil baja *I*. Oleh sebab itu untuk perencanaan maka efek balok komposit diabaikan saja, dianggap balok biasa. Untuk analisis yang teliti, maka keberadaan tulangan baja di pelat beton dapat dimanfaatkan. Tetapi konfigurasi tulangan baja di bagian tersebut perlu didetailkan secara khusus.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Analisis kapasitas momen balok komposit, relatif lebih sederhana dibanding balok profil I biasa. Itu terjadi karena masalah stabilitas yang harus dievaluasi menjadi berkurang. Bagian pelat sayap yang menyatu dengan pelat beton menyebabkan problem tekuk lokal dan tekuk torsi lateral dapat diabaikan. Tinggal pelat badan yang tidak terpengaruh dan masih perlu dievaluasi terhadap stabilitas.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Kuat lentur terhadap momen positif

Kuat lentur rencana momen positif $\phi_b M_n$ ditentukan dari kondisi batas leleh ($\phi_b = 0.9$) tetapi dibatasi oleh stabilitas pelat badan. Oleh sebab itu perlu juga dievaluasi kelangsingan elemennya.

Untuk pelat badan dengan $h/t_w \leq 3.76\sqrt{(E/F_y)}$ \rightarrow kompak

- Pelat badan berklasifikasi kompak tidak berisiko terhadap stabilitas, seperti tekuk lokal atau tekuk torsi lateral. Profil baja dapat dibebani sampai kondisi plastis. Jadi kapasitas lentur balok komposit, M_n dihitung berdasarkan momen plastisnya. Hitungannya relatif sederhana dan tidak terpengaruh tahapan beban. Selanjutnya dibandingkan hasilnya dengan kondisi beban perlu terfaktor (beban batas / *ultimate*).

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Untuk pelat badan dengan $h/t_w > 3.76\sqrt{(E/F_y)} \rightarrow$ non-kompak

- Pelat badan berklasifikasi non-kompak atau langsing. Berarti ketika dibebani sebelum mencapai kondisi plastis atau tegangan leleh, akan mengalami kegagalan stabilitas, tekuk lokal, terlebih dahulu. Untuk mengatasinya maka perencanaan balok dilakukan dengan menganggap balok pada kondisi elastis saja, yaitu memakai penampang transformasi elastis atau cara *n*. Prosedur sama seperti perhitungan lendutan balok komposit, hanya berbeda dalam hal faktor beban. Pada kondisi elastis, setiap tahapan beban perlu dievaluasi sendiri, bertahap dan dijumlah dengan superposisi. Prosedur perhitungannya relatif lebih panjang (kompleks) dibandingkan cara plastis.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Gaya geser balok komposit

Perencanaan balok komposit terhadap gaya geser ternyata tidak berbeda dibanding balok biasa. Itu terjadi karena kekuatan geser ditentukan oleh kuat geser profil balok baja itu sendiri, yaitu pelat badan. Pelat beton dalam hal ini tidak memberi pengaruh apa-apa.

Itu juga berarti kuat geser yang dihasilkan dari *shear-stud* tidak ditujukan untuk meningkatkan gaya geser balok komposit, tetapi hanya sarana untuk menyatukan pelat beton bertulang dan profil baja *I* terhadap kapasitas momen lenturnya.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Lendutan balok komposit

Meskipun telah memenuhi persyaratan kekuatan, balok komposit harus dievaluasi juga terhadap persyaratan layan atau kekakuan. Umumnya itu berkaitan dengan lendutan struktur. Kondisi beban yang dievaluasi tentu saja semua. Hanya saja, untuk kondisi beban mati jika ada permasalahan lendutan yang besar. Itu dapat diatasi dengan memberikan lawan lendut (*camber*). Jika demikian, maka hanya lendutan dari beban hidup saja yang perlu dihitung. Secara umum, persyaratan lendutan maksimum terhadap beban hidup adalah $\leq L/360$. Untuk kondisi tertentu, **tergantung fungsi lantai** yang akan digunakan, misalnya lantai yang berisi alat-alat instrumen yang peka, maka bisa saja diperlukan persyaratan lendutan yang lebih ketat, misalnya $L/800$, dan lain sebagainya.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Pemberian lawan lendut atau *camber* pada balok, hanya efektif jika diberikan pada balok bentang panjang, yaitu jika terdiri dari segmen-segmen yang disambung. Jadi pada tiap sambungan dapat diberikan deformasi yang berlawanan dari lendutan yang akan terjadi nanti. Pada balok yang relatif pendek, yaitu jika digunakan elemen tunggal (tidak ada sambungan), maka memberikan lawan lendut seperti itu adalah tidak mudah. Pada kasus tertentu itu bisa dikerjakan dengan cara pemanasan. Hanya saja jika tidak hati-hati dan sembarangan (tanpa pengalaman) maka cara pemanasan bisa merusak, atau menghasilkan deformasi yang tidak sesuai rencana. Untuk kondisi seperti itu, mengevaluasi lendutan balok terhadap beban keseluruhan tentunya akan lebih praktis dan dapat menjadi solusi yang ekonomis dan tidak berisiko. Persyaratan lendutan maksimum balok terhadap beban total bisa diambil $\leq L/250$.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Evaluasi lendutan dilakukan pada kondisi elastis, yaitu terhadap kondisi beban kerja (tanpa faktor beban). Pada balok komposit, dimana kondisi komposit tidak serta merta terjadi, yaitu hanya terjadi jika pelat beton telah mengeras, maka lendutan pada balok harus ditinjau pada tahapan-tahapan yang berbeda. Jika balok juga dipakai sebagai perancah, maka tentu efek komposit belum bekerja. Balok direncanakan seperti balok biasa untuk memikul berat sendiri struktur, berat beton basah dan beban hidup konstruksi yang terjadi. Efek komposit baru dievaluasi jika beton telah mengeras/kuat, yaitu terhadap beban hidup rencana. Kedua tahap dihitung terpisah dan saling dijumlah dengan cara superposisi.

Filosofi Perencanaan Lentur Balok Komposit

Hal penting memprediksi lendutan balok komposit adalah adanya efek rangkak (*creep*), terjadi penambahan lendutan pada kondisi beban konstan seiring dengan waktu. Ini umum pada konstruksi beton dan bisa diatasi dengan tulangan ganda atau desak, maklum material baja tidak mengalami rangkak. Selanjutnya strategi dari ACI, khususnya untuk memprediksi lendutan jangka panjang dari balok komposit akan digunakan sebagai rujukan.

Contoh Soal

Contoh Soal 1

Hitunglah jumlah penghubung geser yang diperlukan pada komponen struktur komposit dalam contoh 12.4!

JAWAB:

Data yang ada: WF 300.150.6,5.9 BJ37

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

tebal pelat beton, $t = 10 \text{ cm}$

panjang bentang, $L = 9 \text{ m}$

Penyelesaian

Gaya geser horizontal V_h akibat aksi komposit penuh adalah:

$$V_h = C = 1122720 \text{ N}$$

Gunakan *stud connector* $\frac{1}{2}$ " \times 5 cm. Diameter maksimum stud yang diizinkan:

$$2,5 \cdot t_f = 2,5(9) = 22,5 \text{ mm} > \frac{1}{2} \text{ " } (= 12,7 \text{ mm})$$

Luas penampang melintang satu buah *stud connector*:

$$A_{sc} = \frac{\pi \times 12,7^2}{4} = 126,73 \text{ mm}^2$$

Modulus elastisitas beton:

$$E_c = 0,041 \cdot w^{1,5} \sqrt{f'_c} = 0,041(2400)^{1,5} \sqrt{20} = 21550 \text{ MPa}$$

Penyelesaian

Kuat geser satu buah *stud connector*:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'_c \cdot E_c} = 0,5(126,73) \sqrt{20 \times 21550} = 41599 \text{ N}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,73(400) = 50692 \text{ N} > 41599 \text{ N}$$

$$\therefore Q_n = 41599 \text{ N}$$

Persyaratan jarak antar penghubung geser:

$$\text{Jarak minimum longitudinal} = 6d = 6(12,7) = 76,2 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak maksimum longitudinal} = 8t = 8(100) = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak transversal} = 4d = 4(12,7) = 50,8 \text{ mm}$$

Jumlah stud yang diperlukan:

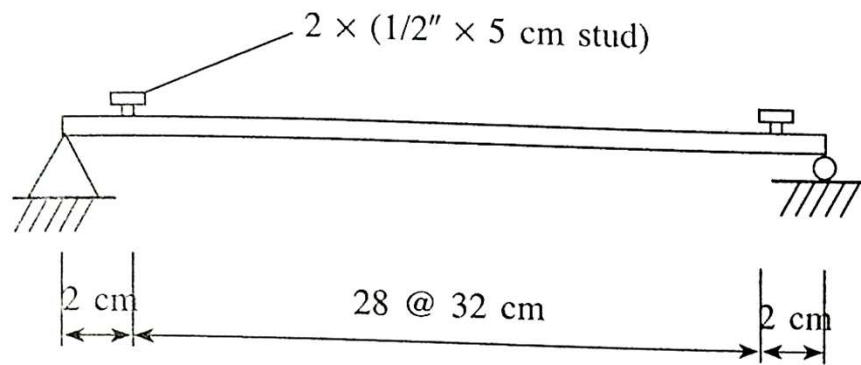
$$N = \frac{V_b}{Q_n} = \frac{1122720}{41599} = 26,98 \approx 28 \text{ buah}$$

Penyelesaian

Gunakan minimum 28 stud untuk $\frac{1}{2}$ bentang balok, atau 56 buah untuk keseluruhan bentang. Jika satu buah stud dipasang tiap penampang melintang, jarak antar stud adalah:

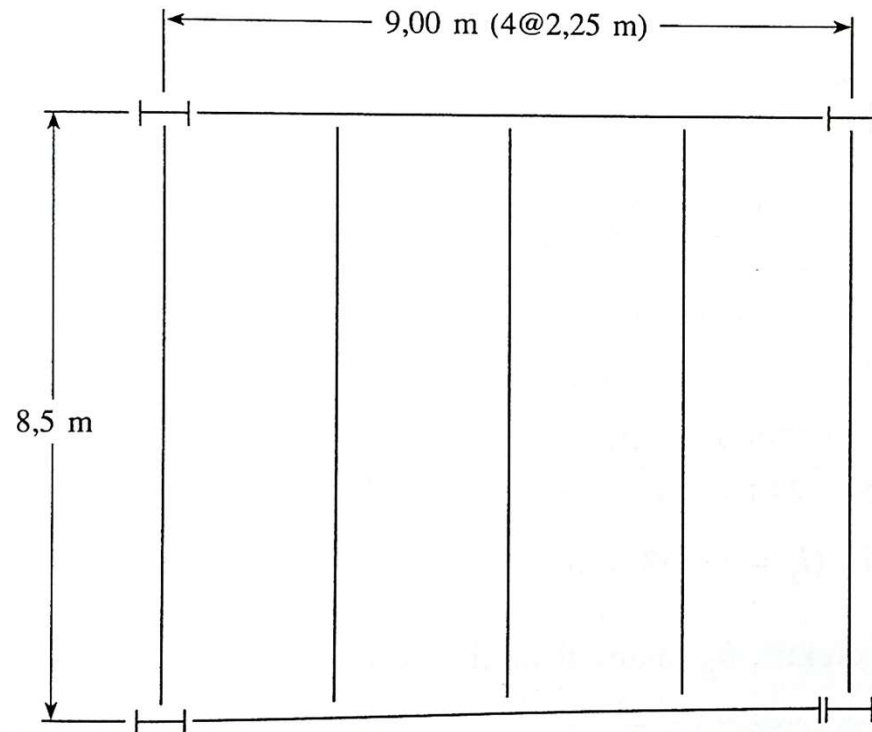
$$s = \frac{9000}{\frac{56}{2}} = 320 \text{ mm}$$

Gunakan 58 buah stud dengan penempatan seperti pada gambar berikut ini:



Contoh Soal 2

Desainlah sebuah balok komposit interior pada denah lantai berikut. Asumsikan bahwa selama konstruksi tidak digunakan perancah (*unshored*). Gunakan material BJ 37, $f'_c = 20$ MPa ($n = 9$) dan tebal pelat lantai adalah 10 cm.



Penyelesaian

JAWAB:

a. perhitungan beban

beban mati:	pelat beton = $0,1 \times 2400$	= 240 kg/m^2
	bekisting	= 15 kg/m^2
	mekanikal	= 20 kg/m^2
	plafond	= 28 kg/m^2
	partisi	= 95 kg/m^2
	q_D	= 398 kg/m^2
beban hidup q_L		= 400 kg/m^2
beban konstruksi:	$D = 255 \text{ kg/m}^2$ (beton + bekisting)	
	$L = 100 \text{ kg/m}^2$	

Penyelesaian

- b. desain terhadap beban konstruksi (aksi komposit belum bekerja, karena beton belum mengeras)

$$q_u = 2,25(1,2(255) + 1,6(100)) = 1048,5 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (1048,5)(8,5)^2 = 9469,26 \text{ kgm} = 9,4693 \text{ ton.m}$$

$$Z_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi_b \times f_y} = \frac{9,4693 \times 10^7}{0,9 \times 240} = 438,39 \text{ cm}^3$$

Kontrol terhadap lendutan selama konstruksi:

Batas lendutan = $L/360$ (tanpa beban hidup)

$$q = 2,25(255) = 573,75 \text{ kg/m} = 5,7375 \text{ N/mm}$$

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI} \rightarrow I_{x \text{ perlu}} = \frac{5qL^4}{384E\Delta} = \frac{5 \times 5,7375 \times 8500^4}{384 \times 200000 \times 23,61} = 8258,7 \text{ cm}^4$$

Penyelesaian

c. desain balok komposit

$$q_u = 2,25(1,2(398) + 1,6(400)) = 2514,6 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (2514,6)(8,5)^2 = 22709,98 \text{ kgm} = 2,270998 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times \left(\frac{d}{2} + t - \frac{a}{2} \right)}$$

Penyelesaian

Untuk $t = 100$ mm dan a diasumsikan sama dengan 25 mm, maka
 $t - \frac{1}{2} a = 87,5$ mm

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{2,270998 \times 10^8}{0,85(240)(150 + 87,5)} = 4687,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 300})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{2,270998 \times 10^8}{0,85(240)(175 + 87,5)} = 4240,89 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 350})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{2,270998 \times 10^8}{0,85(240)(200 + 87,5)} = 3872,11 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 400})$$

Penyelesaian

Dicoba WF 350.175 ($I_x = 11100 \text{ cm}^4$, $Z_x = 689,12 \text{ cm}^3$, $A = 52,68 \text{ cm}^2$)

Menentukan lebar efektif, b_E , diambil nilai terkecil dari:

$$b_E = \frac{1}{4} \cdot L = \frac{1}{4} (8,5) = 2,125 \text{ m}$$

$$b_E = b_o = 2,25 \text{ m}$$

sehingga b_E diambil sama dengan 2,125 m

Asumsikan sumbu netral plastis berada di pelat beton, sehingga:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_E} = \frac{5268 \times 240}{0,85 \times 20 \times 2125} = 35 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$



Penyelesaian

Kuat lentur nominal dihitung sebagai berikut:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(\frac{d}{2} + t - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 5268(240) \left(\frac{346}{2} + 100 - \frac{35}{2} \right)$$

$$= 323033760 \text{ Nmm}$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,85(323033760)$$

$$= 274578696 \text{ Nmm} > M_u (2,3247 \cdot 10^8 \text{ Nmm})$$

(M_u direvisi setelah ditambahkan berat sendiri balok)

Penyelesaian

d. menghitung jumlah stud

$$V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E = A_s \times f_y = 5268(240) = 1264320 \text{ N}$$

Gunakan stud $\frac{1}{2}'' \times 5 \text{ cm}$, kuat geser 1 buah stud diambil dari nilai yang terkecil di antara:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'_c \times E_c} = 0,5(126,73) \cdot \sqrt{20 \times 21550} = 41599 \text{ N}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,73(400) = 50692 \text{ N} > 41599 \text{ N}$$

Ambil $Q_n = 41599 \text{ N}$

Jumlah stud yang dibutuhkan:

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{1264320}{41599} = 30,39 \approx 32 \text{ buah} \quad (\text{untuk } \frac{1}{2} \text{ bentang})$$

Penyelesaian

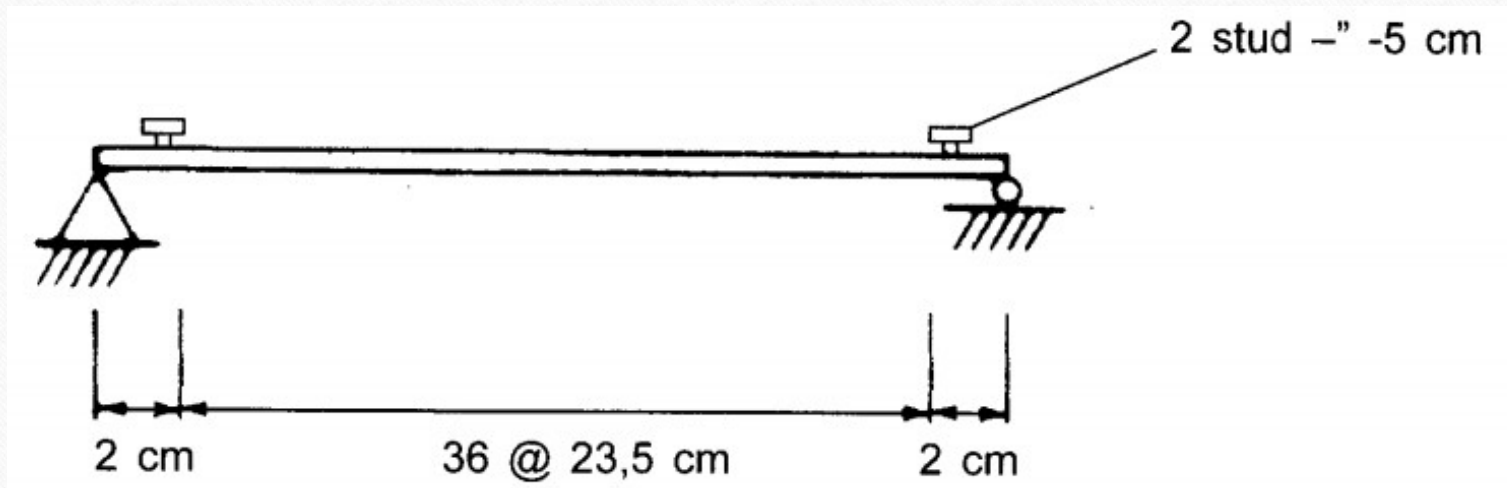
Untuk keseluruhan bentang dipasang 64 buah stud, jika pada tiap penampang melintang dipasang 2 buah stud, maka jarak antar stud adalah:

$$s = \frac{8500}{31} = 274,2 \text{ mm} \approx 27,5 \text{ cm}$$

$$s_{\min} = 6d = 7,62 \text{ cm}$$

$$s_{\max} = 8t = 80 \text{ cm}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

e. menghitung kuat geser penampang

$$V_u = (2514,6 + 1,2(49,6))(8,5/2) = 10940 \text{ kg} = 10,94 \text{ ton}$$

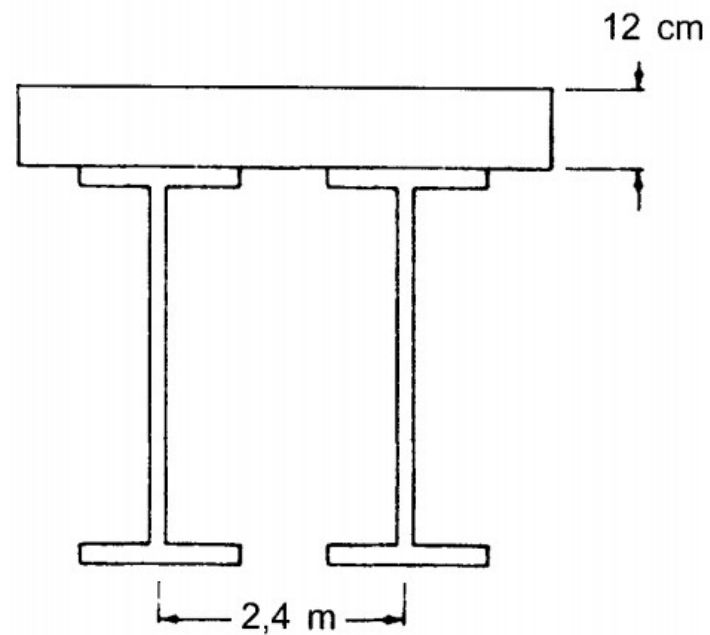
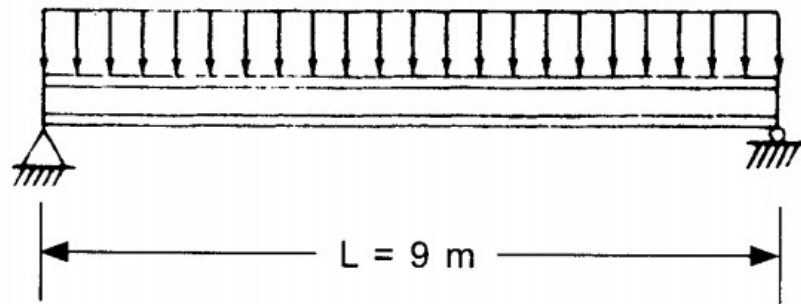
$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,9(0,6 \cdot f_y) \cdot h \cdot t_w = 0,9(0,6)(240)(346)(6) \\ &= 26,9 \text{ ton} > V_u\end{aligned}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{346 - 2(9 + 14)}{7} = 42,85 < \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 71$$

OK

Contoh Soal 3

Desainlah sebuah balok komposit interior dengan bentang 9 m dan jarak antar balok 2,4 m. Gunakan jumlah minimum stud $\frac{3}{4}$ " – 7,5 cm. Tebal pelat beton adalah 12 cm. Tidak digunakan perancah selama konstruksi, dan mutu baja yang digunakan adalah BJ 41, $f'_c = 20$ MPa, $n = 9$.



Penyelesaian

JAWAB:

a. perhitungan beban

beban mati :	pelat beton	=	$0,12(2400)$	=	288 kg/m^2
	bekisting	=		=	15 kg/m^2
	mekanikal	=		=	20 kg/m^2
	plafond	=		=	28 kg/m^2
	partisi	=		=	<u>100 kg/m^2</u>
	q_D	=		=	451 kg/m^2
beban hidup :	q_L	=		=	400 kg/m^2

beban konstruksi : $D = 303 \text{ kg/m}^2$ (beton + bekisting)
 $L = 100 \text{ kg/m}^2$

Penyelesaian

desain terhadap beban konstruksi (pelat beton belum mengeras)

$$q_u = 2,4(1,2(303) + 1,6(100)) = 1256,64 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (1256,64)(9)^2 = 12723,48 \text{ kgm}$$

$$= 12723,48 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$Z_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y} = \frac{12723,48 \times 10^4}{0,9 \times 250} = 565488 \text{ mm}^3 = 565,488 \text{ cm}^3$$

Penyelesaian

Kontrol terhadap lendutan selama konstruksi

Batas lendutan = $L/360 = 9000/360 = 25$ mm

$$q = 2,4(303) = 727,2 \text{ kg/m} = 7,272 \text{ N/mm}$$

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \rightarrow I_{\text{perlu}} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \Delta}$$

$$I_{\text{perlu}} = \frac{5 \times 7,272 \times 9000^4}{384 \times 200000 \times 25} = 12424,9 \text{ cm}^4$$

Penyelesaian

desain balok komposit

$$q_u = 2,4(1,2(451) + 1,6(400)) = 2834,88 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (2834,88)(9)^2 = 28703,16 \text{ kgm}$$
$$= 28703,16 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot \left(\frac{d}{2} + t - \frac{a}{2} \right)}$$

Untuk $t = 120 \text{ mm}$ & $a = 25 \text{ mm}$ $\rightarrow t - a/2 = 120 - 25/2 = 107,5 \text{ mm}$

Penyelesaian

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{28703,16 \times 10^4}{0,85(240)(150+107,5)} = 4687,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 300})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{28703,16 \times 10^4}{0,85(240)(175+107,5)} = 4781,37 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 350})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{28703,16 \times 10^4}{0,85(240)(200+87,5)} = 3872,11 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 400})$$

Penyelesaian

Coba profil WF 350.175.7.11

Menentukan lebar efektif b_E :

$$\left. \begin{aligned} b_E &= \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 9 = 2,25 \text{ m} \\ b_E &= b_o = 2,4 \text{ m} \end{aligned} \right\} \text{Ambil } b_E = 2,25 \text{ m}$$

- d. untuk mendapatkan jumlah minimum penghubung geser maka jarak antar penghubung geser harus dibuat maksimal:

$$s = 8 \times t_{\text{pelat}} = 8(12) = 96 \text{ cm}$$

$$\text{jumlah penghubung geser} = \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 9 = 10,375 \approx 12 \text{ buah}$$

dipasang total 12 buah penghubung geser, sehingga untuk $\frac{1}{2}$ bentang terdapat 6 buah penghubung geser.

Penyelesaian

Kuat geser nominal 6 buah penghubung geser tipe stud adalah:

$$\begin{aligned}\Sigma Q_n &= 6 \times (0,5 \times A_{sc} \times \sqrt{f'_c \cdot E_c}) \\ &= 6 \times (0,5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times \sqrt{20 \times 21550}) = 967170 \text{ N}\end{aligned}$$

$$T_{\max} = A_s \times f_y = 6314 \times 250 = 1578500 \text{ N}$$

Karena $\Sigma Q_n < T_{\max}$ maka sumbu netral plastis jatuh pada penampang baja.

Penyelesaian

- e. menentukan letak sumbu netral plastis
asumsikan bahwa sumbu netral plastis jatuh pada flens tekan, sehingga dari keseimbangan gaya diperoleh hubungan:

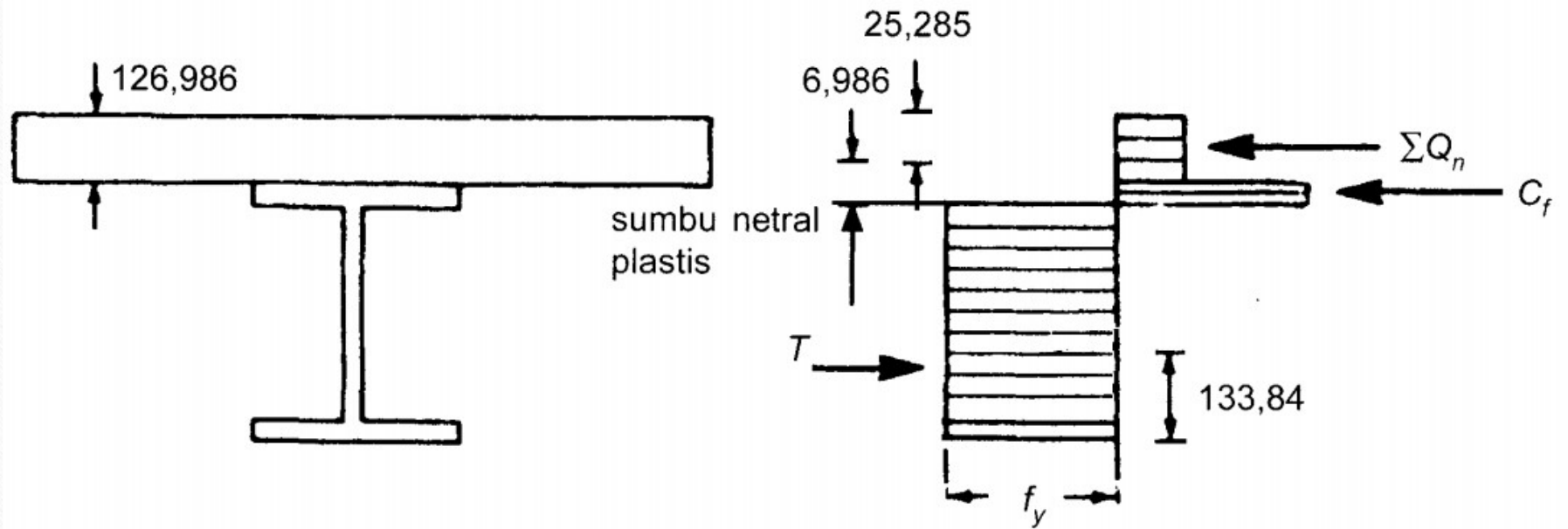
$$\Sigma Q_n + C_f = T_{\max} - C_f$$

$$967170 + C_f = 1578500 - C_f$$

$$2 \cdot C_f = 611330 \rightarrow C_f = 305665 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{letak sumbu netral plastis dari tepi atas flens} &= \frac{C_f}{b_f \times f_y} = \frac{305665}{250 \times 175} \\ &= 6,986 \text{ mm} \end{aligned}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

Letak garis kerja T diukur dari tepi bawah flens baja dihitung sebagai berikut

	Luas, $A(\text{cm}^2)$	Lengan, $y(\text{cm})$	$A \times y (\text{cm}^3)$
Profil WF	63,14	17,5	1104,95
flens	- 12,22	34,65	- 423,423
	50,92		681,527

$$\bar{y} = \frac{681,527}{50,92} = 13,384 \text{ cm} = 133,84 \text{ mm}$$

Penyelesaian

- f. menghitung kuat lentur nominal
untuk menghitung kuat lentur nominal, terlebih dahulu harus dihitung nilai a dengan menyamakan ΣQ_n dengan $C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot a$

$$a = \frac{\Sigma Q_n}{0,85 \times 20 \times 2250} = 25,285 \text{ mm}$$

Tentukan momen internal terhadap titik kerja T

$$\begin{aligned} \Sigma Q_n & : M_{n1} = \Sigma Q_n (d - \bar{y} + t_s - a/2) \\ & = 967170(350 - 133,84 + 120 - (25,285/2)) \\ & = 312896420,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_f & : M_{n2} = C_f (d - \bar{y} - (6,986/2)) \\ & = 175(6,986)(250)(350 - 133,84 - 3,493) \\ & = 64999010,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Penyelesaian

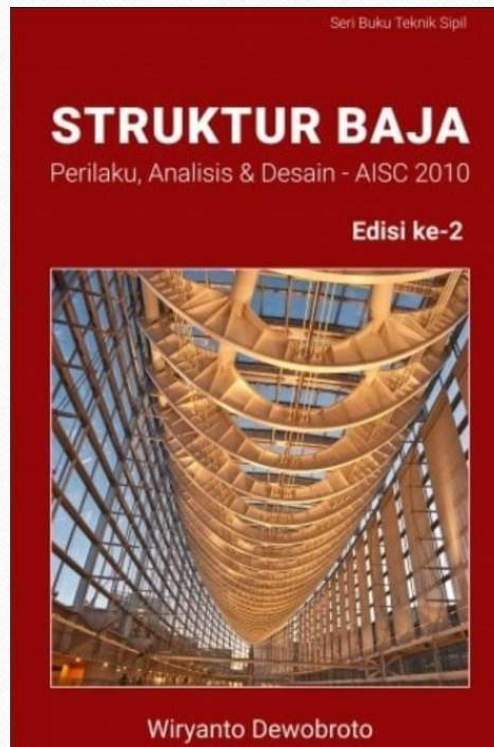
$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 377895430,7 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}\phi_b \cdot M_n &= 0,85 \times 377895430,7 \\ &= 321211116,1 \text{ Nmm} \approx 32,12 \text{ ton.m} > M_u (= 29,3056 \text{ ton.m})\end{aligned}$$

M_u yang diperhitungkan adalah M_u setelah ditambahkan berat sendiri balok, yaitu

$$= 28703,16 \text{ kg.m} + \frac{1}{8} (1,2)(49,6)(9)^2 = 29305,8 \text{ kg.m} = 29,3056 \text{ ton.m}$$

Referensi



Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 4 – Komponen Struktur Komposit Bagian 2

Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Analisis Sambungan Geser

Penghubung Geser

Gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, sehingga tidak terjadi slip pada saat masa layan.

Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 Pasal 12.6.2. Pasal ini menyatakan bahwa untuk aksi komposit di mana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya geser horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan, harus diambil sebagai nilai terkecil dari: $A_s \cdot f_y$, $0,85 \cdot f_c' \cdot A_c$ atau ΣQ_n . Selanjutnya kita notasikan gaya geser horizontal ini dengan V_h .

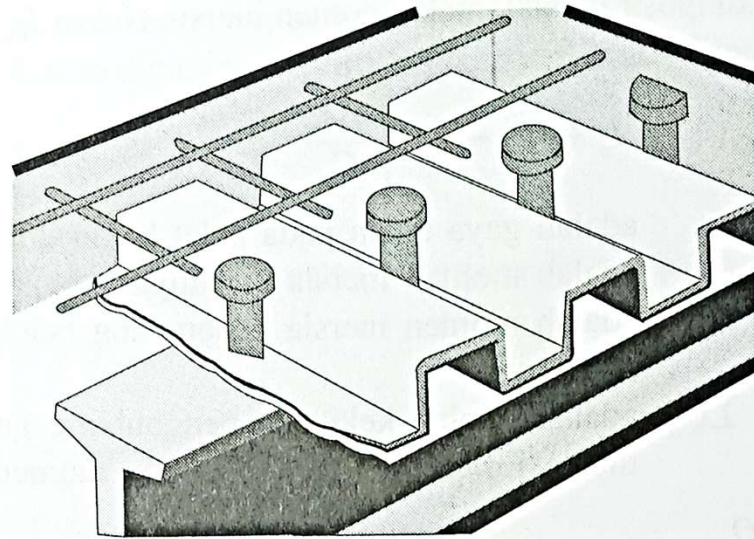
Jika besarnya V_h ditentukan oleh $A_s \cdot f_y$ atau $0,85 \cdot f_c' \cdot A_c$, maka yang terjadi adalah perilaku aksi komposit penuh, dan jumlah penghubung geser yang diperlukan antara titik momen nol dan momen maksimum adalah:

$$N_1 = \frac{V_h}{Q_n}$$

12.23

Dengan Q_n adalah kuat geser nominal satu buah penghubung geser. Jenis penghubung geser yang dipersyaratkan dalam SNI 03-1729-2002 Pasal 12.6.1 adalah berupa jenis

Penghubung Geser



GAMBAR 12.6 ■ *Shear Connector* pada Balok Komposit

paku berkepala (stud) dengan panjang dalam kondisi terpasang tidak kurang dari empat kali diameternya, atau berupa profil baja kanal hasil gilas panas.

Penghubung Geser

Kuat nominal penghubung geser jenis paku yang ditanam di dalam pelat beton masif, ditentukan sesuai Pasal 12.6.3, yaitu:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u \quad \mathbf{12.24}$$

dengan: A_{sc} adalah luas penampang penghubung geser jenis paku, mm^2
 f_u adalah tegangan putus penghubung geser jenis paku, MPa
 Q_n adalah kuat geser nominal untuk penghubung geser, N

Kuat nominal penghubung geser jenis kanal yang ditanam dalam pelat beton masif, diatur sesuai Pasal 12.6.4, yaitu:

$$Q_n = 0,3(t_f + 0,5 \cdot t_w) \cdot L_c \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \quad \mathbf{12.25}$$

dengan: L_c adalah panjang penghubung geser jenis kanal, mm
 t_f adalah tebal pelat sayap, mm
 t_w adalah tebal pelat badan, mm

Penghubung Geser

Persamaan 12.23 memberikan jumlah penghubung geser antara titik dengan momen nol dan momen maksimum, sehingga untuk sebuah balok yang tertumpu sederhana, diperlukan penghubung geser sejumlah $2 \cdot N_1$ yang harus diletakkan dengan jarak/spasi yang sama.

Persyaratan mengenai jarak antar penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.6 yang antara lain mensyaratkan:

1. selimut lateral minimum = 25 mm, kecuali ada dek baja
2. diameter maksimum = $2,5 \times$ tebal flens profil baja
3. jarak longitudinal minimum = $6 \times$ diameter penghubung geser
4. jarak longitudinal maksimum = $8 \times$ tebal pelat beton
5. jarak minimum dalam arah tegak lurus sumbu longitudinal = $4 \times$ diameter
6. jika digunakan dek baja gelombang, jarak minimum penghubung geser dapat diperkecil menjadi $4 \times$ diameter

Penghubung Geser

Jika jumlah penghubung geser tidak cukup banyak untuk mencegah terjadinya slip antara pelat beton dan balok baja, maka analisis harus didasarkan pada perilaku aksi komposit parsial. Untuk komponen struktur komposit yang dianggap berperilaku sebagai komposit parsial, maka momen inersia efektif I_{eff} balok komposit harus dihitung sebagai berikut:

$$I_{eff} = I_s + (I_{tr} - I_s) \sqrt{\Sigma Q_n / C_f} \quad 12.26$$

Penghubung Geser

Dengan:

C_f adalah gaya tekan pada pelat beton untuk kondisi komposit penuh, N

I_s adalah momen inersia penampang baja, mm^4

I_{tr} adalah momen inersia penampang balok komposit penuh yang belum retak, mm^4

ΣQ_n adalah jumlah kekuatan penghubung geser di sepanjang daerah yang dibatasi oleh momen positif dan momen nol, N

Rasio $\Sigma Q_n / C_f$ minimal adalah 0,25 agar tidak terjadi slip berlebihan pada balok.

Contoh Soal 1

Hitunglah jumlah penghubung geser yang diperlukan pada komponen struktur komposit dalam contoh 12.4!

JAWAB:

Data yang ada: WF 300.150.6,5.9 BJ37

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

tebal pelat beton, $t = 10 \text{ cm}$

panjang bentang, $L = 9 \text{ m}$

Penyelesaian

Gaya geser horizontal V_h akibat aksi komposit penuh adalah:

$$V_h = C = 1122720 \text{ N}$$

Gunakan *stud connector* $\frac{1}{2}$ " \times 5 cm. Diameter maksimum stud yang diizinkan:

$$2,5 \cdot t_f = 2,5(9) = 22,5 \text{ mm} > \frac{1}{2} \text{ " } (= 12,7 \text{ mm})$$

Luas penampang melintang satu buah *stud connector*:

$$A_{sc} = \frac{\pi \times 12,7^2}{4} = 126,73 \text{ mm}^2$$

Modulus elastisitas beton:

$$E_c = 0,041 \cdot w^{1,5} \sqrt{f'_c} = 0,041(2400)^{1,5} \sqrt{20} = 21550 \text{ MPa}$$

Penyelesaian

Kuat geser satu buah *stud connector*:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'_c \cdot E_c} = 0,5(126,73) \sqrt{20 \times 21550} = 41599 \text{ N}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,73(400) = 50692 \text{ N} > 41599 \text{ N}$$

$$\therefore Q_n = 41599 \text{ N}$$

Persyaratan jarak antar penghubung geser:

$$\text{Jarak minimum longitudinal} = 6d = 6(12,7) = 76,2 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak maksimum longitudinal} = 8t = 8(100) = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak transversal} = 4d = 4(12,7) = 50,8 \text{ mm}$$

Jumlah stud yang diperlukan:

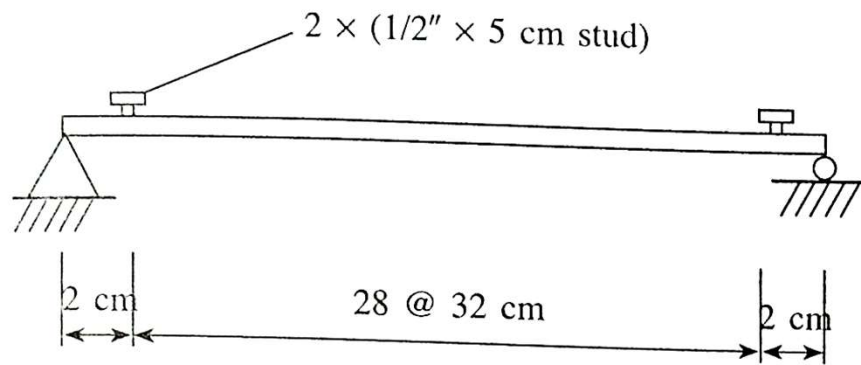
$$N = \frac{V_b}{Q_n} = \frac{1122720}{41599} = 26,98 \approx 28 \text{ buah}$$

Penyelesaian

Gunakan minimum 28 stud untuk $\frac{1}{2}$ bentang balok, atau 56 buah untuk keseluruhan bentang. Jika satu buah stud dipasang tiap penampang melintang, jarak antar stud adalah:

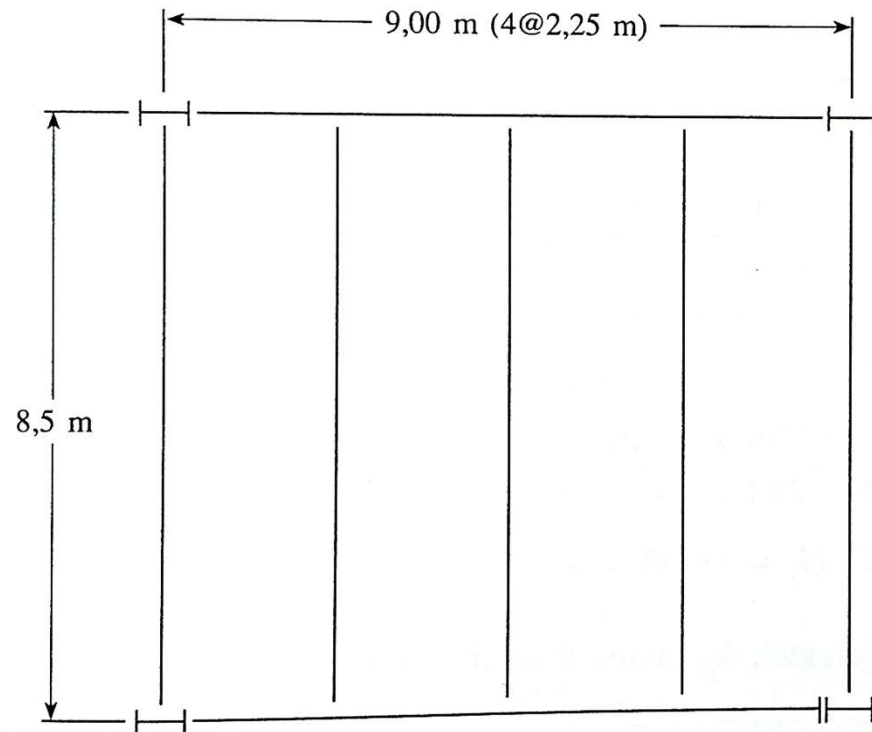
$$s = \frac{9000}{\frac{56}{2}} = 320 \text{ mm}$$

Gunakan 58 buah stud dengan penempatan seperti pada gambar berikut ini:



Contoh Soal 2

Desainlah sebuah balok komposit interior pada denah lantai berikut. Asumsikan bahwa selama konstruksi tidak digunakan perancah (*unshored*). Gunakan material BJ 37, $f'_c = 20$ MPa ($n = 9$) dan tebal pelat lantai adalah 10 cm.



Penyelesaian

JAWAB:

a. perhitungan beban

beban mati:	pelat beton	$= 0,1 \times 2400$	$= 240 \text{ kg/m}^2$
	bekisting		$= 15 \text{ kg/m}^2$
	mekanikal		$= 20 \text{ kg/m}^2$
	plafond		$= 28 \text{ kg/m}^2$
	partisi		$= 95 \text{ kg/m}^2$
	q_D		$= 398 \text{ kg/m}^2$
beban hidup	q_L		$= 400 \text{ kg/m}^2$
beban konstruksi:	D	$= 255 \text{ kg/m}^2$	(beton + bekisting)
	L	$= 100 \text{ kg/m}^2$	

Penyelesaian

- b. desain terhadap beban konstruksi (aksi komposit belum bekerja, karena beton belum mengeras)

$$q_u = 2,25(1,2(255) + 1,6(100)) = 1048,5 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (1048,5)(8,5)^2 = 9469,26 \text{ kgm} = 9,4693 \text{ ton.m}$$

$$Z_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi_b \times f_y} = \frac{9,4693 \times 10^7}{0,9 \times 240} = 438,39 \text{ cm}^3$$

Kontrol terhadap lendutan selama konstruksi:

Batas lendutan = $L/360$ (tanpa beban hidup)

$$q = 2,25(255) = 573,75 \text{ kg/m} = 5,7375 \text{ N/mm}$$

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI} \rightarrow I_{x \text{ perlu}} = \frac{5qL^4}{384E\Delta} = \frac{5 \times 5,7375 \times 8500^4}{384 \times 200000 \times 23,61} = 8258,7 \text{ cm}^4$$

Penyelesaian

c. desain balok komposit

$$q_u = 2,25(1,2(398) + 1,6(400)) = 2514,6 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (2514,6)(8,5)^2 = 22709,98 \text{ kgm} = 2,270998 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times \left(\frac{d}{2} + t - \frac{a}{2} \right)}$$

Penyelesaian

Untuk $t = 100$ mm dan a diasumsikan sama dengan 25 mm, maka
 $t - \frac{1}{2} a = 87,5$ mm

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{2,270998 \times 10^8}{0,85(240)(150 + 87,5)} = 4687,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 300})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{2,270998 \times 10^8}{0,85(240)(175 + 87,5)} = 4240,89 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 350})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{2,270998 \times 10^8}{0,85(240)(200 + 87,5)} = 3872,11 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 400})$$

Penyelesaian

Dicoba WF 350.175 ($I_x = 11100 \text{ cm}^4$, $Z_x = 689,12 \text{ cm}^3$, $A = 52,68 \text{ cm}^2$)

Menentukan lebar efektif, b_E , diambil nilai terkecil dari:

$$b_E = \frac{1}{4} \cdot L = \frac{1}{4} (8,5) = 2,125 \text{ m}$$

$$b_E = b_o = 2,25 \text{ m}$$

sehingga b_E diambil sama dengan 2,125 m

Asumsikan sumbu netral plastis berada di pelat beton, sehingga:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_E} = \frac{5268 \times 240}{0,85 \times 20 \times 2125} = 35 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$



Penyelesaian

Kuat lentur nominal dihitung sebagai berikut:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(\frac{d}{2} + t - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 5268(240) \left(\frac{346}{2} + 100 - \frac{35}{2} \right)$$

$$= 323033760 \text{ Nmm}$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,85(323033760)$$

$$= 274578696 \text{ Nmm} > M_u (2,3247 \cdot 10^8 \text{ Nmm})$$

(M_u direvisi setelah ditambahkan berat sendiri balok)

Penyelesaian

d. menghitung jumlah stud

$$V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E = A_s \times f_y = 5268(240) = 1264320 \text{ N}$$

Gunakan stud $\frac{1}{2}$ " \times 5 cm, kuat geser 1 buah stud diambil dari nilai yang terkecil di antara:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'_c \times E_c} = 0,5(126,73) \cdot \sqrt{20 \times 21550} = 41599 \text{ N}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,73(400) = 50692 \text{ N} > 41599 \text{ N}$$

Ambil $Q_n = 41599 \text{ N}$

Jumlah stud yang dibutuhkan:

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{1264320}{41599} = 30,39 \approx 32 \text{ buah} \quad (\text{untuk } \frac{1}{2} \text{ bentang})$$

Penyelesaian

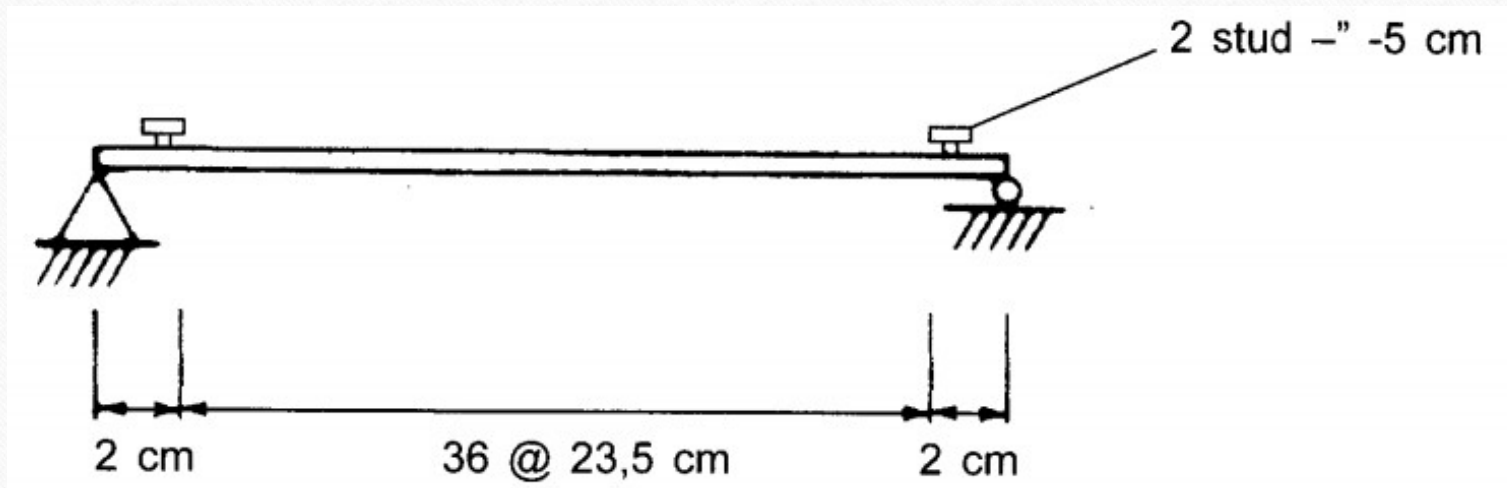
Untuk keseluruhan bentang dipasang 64 buah stud, jika pada tiap penampang melintang dipasang 2 buah stud, maka jarak antar stud adalah:

$$s = \frac{8500}{31} = 274,2 \text{ mm} \approx 27,5 \text{ cm}$$

$$s_{\min} = 6d = 7,62 \text{ cm}$$

$$s_{\max} = 8t = 80 \text{ cm}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

e. menghitung kuat geser penampang

$$V_u = (2514,6 + 1,2(49,6))(8,5/2) = 10940 \text{ kg} = 10,94 \text{ ton}$$

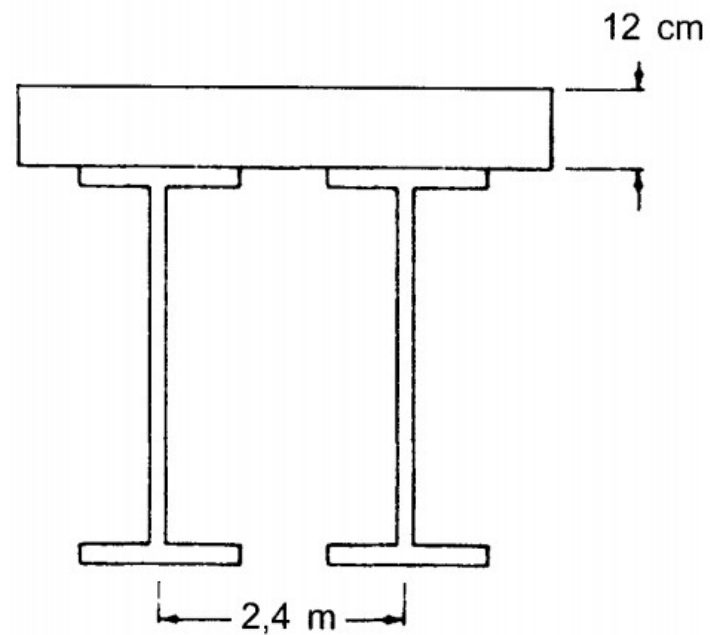
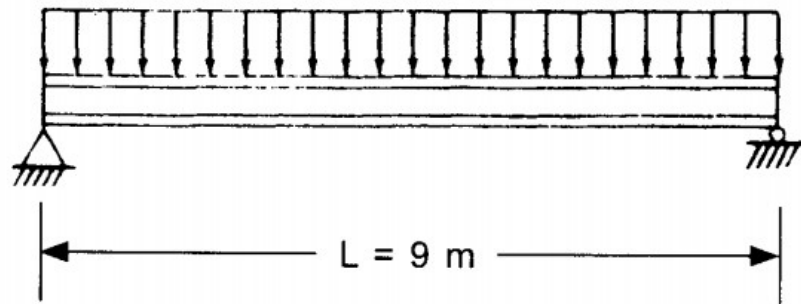
$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,9(0,6 \cdot f_y) \cdot h \cdot t_w = 0,9(0,6)(240)(346)(6) \\ &= 26,9 \text{ ton} > V_u\end{aligned}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{346 - 2(9 + 14)}{7} = 42,85 < \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 71$$

OK

Contoh Soal 3

Desainlah sebuah balok komposit interior dengan bentang 9 m dan jarak antar balok 2,4 m. Gunakan jumlah minimum stud $\frac{3}{4}$ " - 7,5 cm. Tebal pelat beton adalah 12 cm. Tidak digunakan perancah selama konstruksi, dan mutu baja yang digunakan adalah BJ 41, $f'_c = 20$ MPa, $n = 9$.



Penyelesaian

JAWAB:

a. perhitungan beban

beban mati :	pelat beton	=	$0,12(2400)$	=	288 kg/m^2
	bekisting	=		=	15 kg/m^2
	mekanikal	=		=	20 kg/m^2
	plafond	=		=	28 kg/m^2
	partisi	=		=	<u>100 kg/m^2</u>
	q_D	=		=	451 kg/m^2
beban hidup :	q_L	=		=	400 kg/m^2

beban konstruksi : $D = 303 \text{ kg/m}^2$ (beton + bekisting)
 $L = 100 \text{ kg/m}^2$

Penyelesaian

desain terhadap beban konstruksi (pelat beton belum mengeras)

$$q_u = 2,4(1,2(303) + 1,6(100)) = 1256,64 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (1256,64)(9)^2 = 12723,48 \text{ kgm}$$
$$= 12723,48 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$Z_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y} = \frac{12723,48 \times 10^4}{0,9 \times 250} = 565488 \text{ mm}^3 = 565,488 \text{ cm}^3$$

Penyelesaian

Kontrol terhadap lendutan selama konstruksi

Batas lendutan = $L/360 = 9000/360 = 25$ mm

$$q = 2,4(303) = 727,2 \text{ kg/m} = 7,272 \text{ N/mm}$$

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \rightarrow I_{\text{perlu}} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \Delta}$$

$$I_{\text{perlu}} = \frac{5 \times 7,272 \times 9000^4}{384 \times 200000 \times 25} = 12424,9 \text{ cm}^4$$

Penyelesaian

desain balok komposit

$$q_u = 2,4(1,2(451) + 1,6(400)) = 2834,88 \text{ kg/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} (2834,88)(9)^2 = 28703,16 \text{ kgm}$$
$$= 28703,16 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot \left(\frac{d}{2} + t - \frac{a}{2} \right)}$$

Untuk $t = 120 \text{ mm}$ & $a = 25 \text{ mm}$ $\rightarrow t - a/2 = 120 - 25/2 = 107,5 \text{ mm}$

Penyelesaian

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{28703,16 \times 10^4}{0,85(240)(150+107,5)} = 4687,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 300})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{28703,16 \times 10^4}{0,85(240)(175+107,5)} = 4781,37 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 350})$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{28703,16 \times 10^4}{0,85(240)(200+87,5)} = 3872,11 \text{ mm}^2 \quad (\text{untuk WF 400})$$

Penyelesaian

Coba profil WF 350.175.7.11

Menentukan lebar efektif b_E :

$$\left. \begin{aligned} b_E &= \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 9 = 2,25 \text{ m} \\ b_E &= b_o = 2,4 \text{ m} \end{aligned} \right\} \text{Ambil } b_E = 2,25 \text{ m}$$

- d. untuk mendapatkan jumlah minimum penghubung geser maka jarak antar penghubung geser harus dibuat maksimal:

$$s = 8 \times t_{\text{pelat}} = 8(12) = 96 \text{ cm}$$

$$\text{jumlah penghubung geser} = \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 9 = 10,375 \approx 12 \text{ buah}$$

dipasang total 12 buah penghubung geser, sehingga untuk $\frac{1}{2}$ bentang terdapat 6 buah penghubung geser.

Penyelesaian

Kuat geser nominal 6 buah penghubung geser tipe stud adalah:

$$\begin{aligned}\Sigma Q_n &= 6 \times (0,5 \times A_{sc} \times \sqrt{f'_c \cdot E_c}) \\ &= 6 \times (0,5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times \sqrt{20 \times 21550}) = 967170 \text{ N}\end{aligned}$$

$$T_{\max} = A_s \times f_y = 6314 \times 250 = 1578500 \text{ N}$$

Karena $\Sigma Q_n < T_{\max}$ maka sumbu netral plastis jatuh pada penampang baja.

Penyelesaian

- e. menentukan letak sumbu netral plastis
asumsikan bahwa sumbu netral plastis jatuh pada flens tekan, sehingga dari keseimbangan gaya diperoleh hubungan:

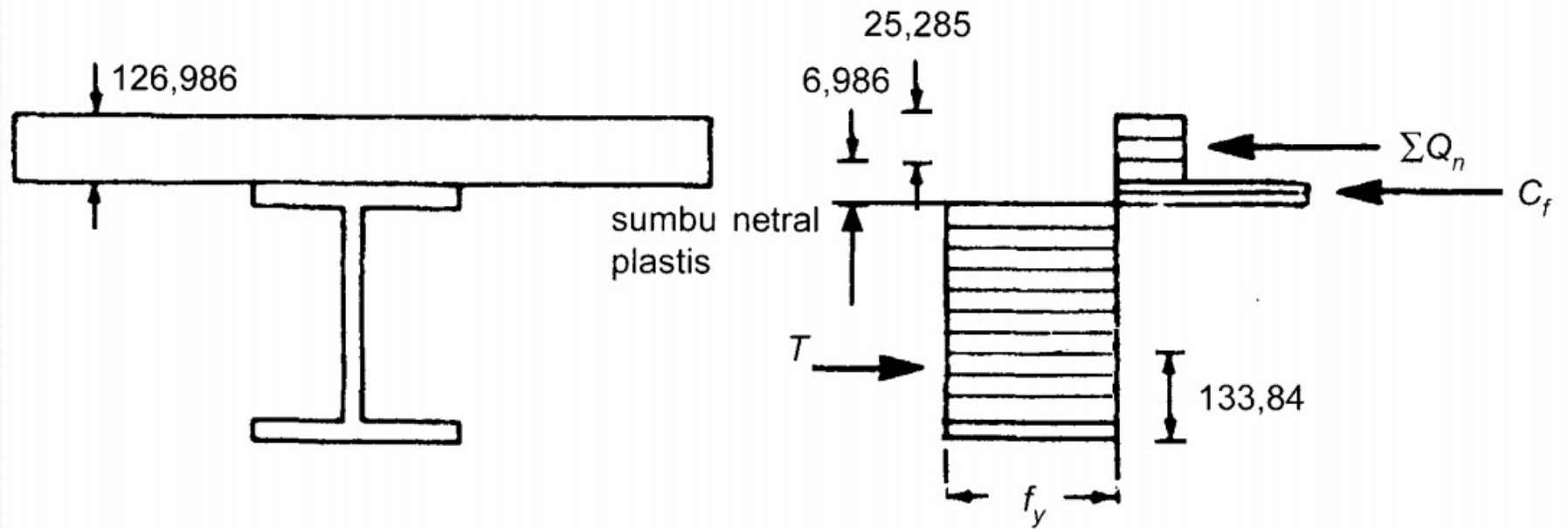
$$\Sigma Q_n + C_f = T_{\max} - C_f$$

$$967170 + C_f = 1578500 - C_f$$

$$2 \cdot C_f = 611330 \rightarrow C_f = 305665 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{letak sumbu netral plastis dari tepi atas flens} &= \frac{C_f}{b_f \times f_y} = \frac{305665}{250 \times 175} \\ &= 6,986 \text{ mm} \end{aligned}$$

Penyelesaian



Penyelesaian

Letak garis kerja T diukur dari tepi bawah flens baja dihitung sebagai berikut

	Luas, $A(\text{cm}^2)$	Lengan, $y(\text{cm})$	$A \times y (\text{cm}^3)$
Profil WF	63,14	17,5	1104,95
flens	- 12,22	34,65	- 423,423
	50,92		681,527

$$\bar{y} = \frac{681,527}{50,92} = 13,384 \text{ cm} = 133,84 \text{ mm}$$

Penyelesaian

- f. menghitung kuat lentur nominal
untuk menghitung kuat lentur nominal, terlebih dahulu harus dihitung nilai a dengan menyamakan ΣQ_n dengan $C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot a$

$$a = \frac{\Sigma Q_n}{0,85 \times 20 \times 2250} = 25,285 \text{ mm}$$

Tentukan momen internal terhadap titik kerja T

$$\begin{aligned} \Sigma Q_n & : M_{n1} = \Sigma Q_n (d - \bar{y} + t_s - a/2) \\ & = 967170(350 - 133,84 + 120 - (25,285/2)) \\ & = 312896420,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_f & : M_{n2} = C_f (d - \bar{y} - (6,986/2)) \\ & = 175(6,986)(250)(350 - 133,84 - 3,493) \\ & = 64999010,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Penyelesaian

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 377895430,7 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}\phi_b \cdot M_n &= 0,85 \times 377895430,7 \\ &= 321211116,1 \text{ Nmm} \approx 32,12 \text{ ton.m} > M_u (= 29,3056 \text{ ton.m})\end{aligned}$$

M_u yang diperhitungkan adalah M_u setelah ditambahkan berat sendiri balok, yaitu

$$= 28703,16 \text{ kg.m} + \frac{1}{8} (1,2)(49,6)(9)^2 = 29305,8 \text{ kg.m} = 29,3056 \text{ ton.m}$$

Kolom Komposit

Kolom Komposit

Kolom komposit dapat dibentuk dari pipa baja yang diisi dengan beton polos atau dapat pula dari profil baja hasil gilas panas yang dibungkus dengan beton dan diberi tulangan baja serta sengkang, seperti halnya pada kolom beton biasa. Analisis dari kolom komposit hampir sama dengan analisis komponen struktur tekan, namun dengan nilai f_y , E dan r yang telah dimodifikasi.

Persyaratan bagi suatu kolom komposit ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.3.1. Batasan-batasan berikut harus dipenuhi oleh suatu kolom komposit:

1. Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas total penampang melintang kolom komposit, jika kurang maka komponen struktur tekan ini akan beraksi sebagai kolom beton biasa

Kolom Komposit

2. Untuk profil baja yang diselubungi beton, persyaratan berikut harus dipenuhi:
 - a. Tulangan longitudinal dan lateral harus digunakan, jarak antar pengikat lateral tidak boleh lebih besar dari $2/3$ dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas penampang melintang dari tulangan longitudinal dan transversal minimum $0,18 \text{ mm}^2$ per mm jarak antar tulangan longitudinal/transversal
 - b. Selimut beton harus diberikan minimal setebal 40 mm dari tepi terluar tulangan longitudinal dan transversal
 - c. Tulangan longitudinal harus dibuat menerus pada lantai tingkat kecuali tulangan longitudinal yang hanya berfungsi sebagai kekangan beton
3. Kuat tekan beton, f'_c berkisar antara 21 hingga 55 MPa untuk beton normal, dan minimal 28 MPa untuk beton ringan
4. Tegangan leleh profil baja dan tulangan longitudinal tidak boleh melebihi 380 MPa .

Kolom Komposit

5. Untuk mencegah tekuk lokal pada pipa baja atau penampang baja berongga, maka ketebalan dinding minimal disyaratkan sebagai berikut:
- a. Untuk penampang persegi dengan sisi b , maka $t \geq b\sqrt{f_y/8E}$
 - b. Untuk penampang lingkaran dengan diameter D , maka $t \geq D\sqrt{f_y/8E}$

Kolom Komposit

Tata cara perhitungan kuat rencana kolom komposit diatur dalam SNI 03-1729-2002 Pasal 12.3.2. Dalam pasal ini dinyatakan bahwa kuat rencana kolom komposit:

$$N_u = \phi_c \cdot N_n \quad 12.30$$

dengan: $\phi_c = 0,85$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} \quad 12.31$$

Nilai dari ω ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \lambda_c < 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1 \quad 12.32a$$

$$\text{Untuk } 0,25 < \omega_c < 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_c} \quad 12.32b$$

$$\text{Untuk } \lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25 \cdot \lambda_c^2 \quad 12.32c$$

di mana:

Kolom Komposit

Dengan:

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \quad 12.33$$

$$f_{my} = f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad 12.34$$

$$E_m = E + c_3 \cdot E_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad 12.35$$

$$E_c = 0,041 \cdot w^{1,5} \cdot \sqrt{f'_c} \quad 12.36$$

KETERANGAN:

- A_c adalah luas penampang beton, mm^2
 A_r adalah luas penampang tulangan longitudinal, mm^2
 A_s adalah luas penampang profil baja, mm^2
 E adalah modulus elastisitas baja, MPa
 E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa
 E_m adalah modulus elastisitas kolom komposit, MPa
 f_{cr} adalah tegangan tekan kritis, MPa
 f_{ym} adalah tegangan leleh kolom komposit, MPa
 f_y adalah tegangan leleh profil baja, MPa
 f'_c adalah kuat tekan karakteristik beton, MPa
 k_c adalah faktor panjang efektif kolom
 L adalah panjang komponen struktur, mm
 r_m adalah jari-jari girasi kolom komposit
 w adalah berat jenis beton, kg/m^3
 λ_c adalah parameter kelangsingan
 ϕ_c adalah faktor reduksi beban aksial tekan
 ω adalah faktor tekuk

Kolom Komposit

Koefisien c_1 , c_2 , dan c_3 ditentukan sebagai berikut:

a. Untuk pipa baja yang diisi beton:

$$c_1 = 1,0 \quad c_2 = 0,85 \quad c_3 = 0,4$$

b. Untuk profil baja yang dibungkus beton:

$$c_1 = 0,7 \quad c_2 = 0,6 \quad c_3 = 0,2$$

Kolom Komposit

Jari-jari girasi kolom komposit diambil lebih besar daripada jari-jari girasi profil baja dan kolom beton. Pendekatan yang konservatif adalah dengan menggunakan jari-jari girasi yang terbesar antara profil baja dan kolom beton, yang dapat diambil sebesar 0,3 kali dimensi dalam bidang tekuk.

$$r_m = r > 0,3 \cdot b \quad 12.37$$

Dengan

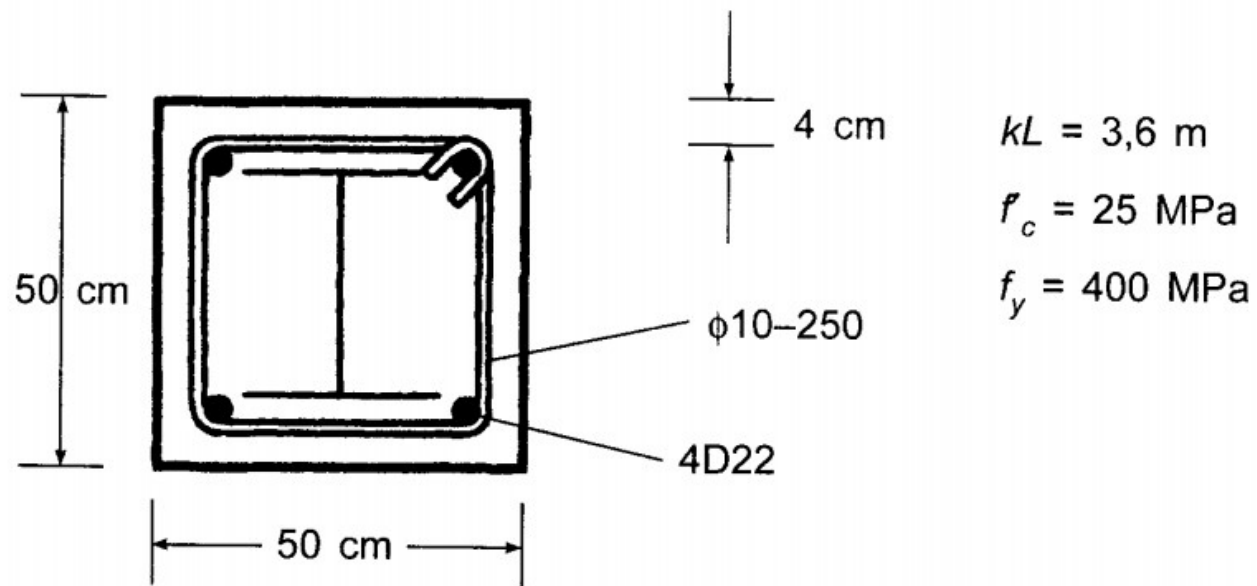
r adalah jari-jari girasi profil baja dalam bidang tekuk

b adalah dimensi terluar kolom beton dalam bidang tekuk

Kuat rencana maksimum yang dipikul oleh beton harus diambil sebesar $1,7 \cdot \phi_c \cdot f'_c \cdot A_B$, dengan $\phi_c = 0,60$ dan A_B adalah luas daerah pembebanan.

Contoh Soal 4

Hitunglah nilai kuat tekan rencana dari kolom komposit berikut:



Penyelesaian

● JAWAB:

$$\text{Luas beton, } A_c = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas profil, } A_s = 11980 \text{ mm}^2$$

Periksa terhadap syarat luas minimum profil baja:

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{11980}{250000} \times 100\% = 4,79\% > 4\%$$

OK

Periksa syarat jarak sengkang/pengikat lateral:

$$\text{Jarak sengkang} = 250 \text{ mm} < \frac{2}{3} \times 500 = 333,3 \text{ mm}$$

OK

Periksa syarat luas tulangan longitudinal:

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tulangan longitudinal} &= 500 - 2(40) - 2(10) - 22 \\ &= 378 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan longitudinal} = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2 > 0,18(378) = 68,04 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Penyelesaian

Periksa syarat tulangan lateral:

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan sengkang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 78,54 \text{ mm}^2 > 0,18(250) = 45 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

OK

Hitung tegangan leleh modifikasi:

$$\text{Luas total tulangan longitudinal, } A_r = 4(380,13) = 1520,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas netto beton, } A_c = 250000 - 11980 - 1520,22 = 236499,78 \text{ mm}^2$$

Untuk profil baja yang diberi selubung beton, maka:

$$c_1 = 0,7 \quad c_2 = 0,6 \quad c_3 = 0,2$$

$$\begin{aligned}f_{my} &= f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \\ &= 240 + 0,7(400) \left(\frac{1520,52}{11980} \right) + 0,6(25) \left(\frac{236499,78}{11980} \right) \\ &= 571,66 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Penyelesaian

Hitung modulus elastisitas modifikasi:

$$\begin{aligned} E_m &= E + c_3 \cdot E_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \\ &= 200000 + 0,2(24100) \left(\frac{236499,78}{11980} \right) \\ &= 295152,66 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jari-jari girasi kolom komposit diambil dari nilai terbesar antara:

$$\left. \begin{array}{l} \text{a. } 0,3b = 0,3(500) = 150 \text{ mm} \\ \text{b. } r_y = 75,1 \text{ mm} \end{array} \right\} r_m = 150 \text{ mm}$$

Penyelesaian

Langkah selanjutnya adalah menghitung kuat tekan kolom komposit:

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} = \frac{3600}{150 \times \pi} \sqrt{\frac{571,66}{295152,66}} = 0,336$$

karena $0,25 < \lambda_c < 1,2$, maka

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(0,336)} = 1,04$$

$$f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} = \frac{571,66}{1,04} = 549,67 \text{ MPa}$$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} = 11980(549,67) = 6585046,6 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 0,85(6585046,6) = 5597289,61 = 559,73 \text{ ton}$$

Penyelesaian

Kuat tekan aksial rencana dari profil WF 300.300.10.15 adalah:

$$\phi N_{ns} = 0,85(11980)(240) = 2443920 \text{ N}$$

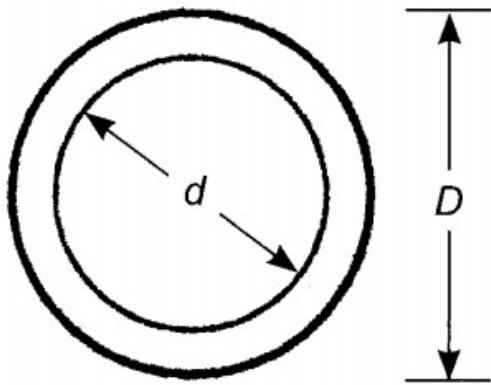
Beban tekan aksial rencana yang dipikul oleh beton:

$$\phi N_{nc} = \phi N_n - \phi N_{ns} = 5597289,61 - 2443920 = 3153369,61 \text{ N}$$

$$1,7 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot A_b = 1,7(0,6)(25)(250000) = 6375000 > \phi N_{nc}$$

Contoh Soal 5

Periksalah apakah kolom pipa komposit berikut ini cukup untuk menahan gaya aksial tekan $P_D = 20$ ton dan $P_L = 45$ ton. Mutu baja yang digunakan adalah BJ 37.



Data lain:

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$D = 190,7 \text{ mm}$$

$$t = 7 \text{ mm}$$

$$d = D - 2t = 190,7 - 2(7) = 176,7 \text{ mm}$$

Penyelesaian

JAWAB:

Hitung gaya tekan aksial perlu, P_u :

$$P_u = 1,2P_D + 1,6P_L = 1,2(20) + 1,6(45) = 96 \text{ ton}$$

Periksa ketebalan minimum pipa

$$t_{\min} = D \sqrt{\frac{f_y}{8E}} = 190,7 \sqrt{\frac{240}{8 \times 200000}} = 2,33 \text{ mm} < 7 \text{ mm}$$

OK

Periksa luas penampang minimum profil baja terhadap luas total penampang komposit:

$$A_s = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2) = \frac{1}{4} \pi (190,7^2 - 176,7^2) = 4039,77 \text{ mm}^2$$

$$A_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi (176,7)^2 = 24522,4 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_s + A_c} = \frac{4039,77}{4039,77 + 24522,4} = 0,141 > 0,04$$

OK

Penyelesaian

Hitung nilai tegangan leleh modifikasi (f_{my}), modulus elastisitas modifikasi (E_m) dan jari-jari girasi (r_m):

$$f_{my} = f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right)$$

$$= 240 + 0 + 0,85(25) \left(\frac{24522,4}{4039,77} \right)$$

$$= 368,99 \text{ MPa}$$

Penyelesaian

$$E_c = 0,041 \cdot w^{1,5} \sqrt{f'_c} = 0,041(2400)^{1,5} \sqrt{25} = 24100 \text{ MPa}$$

$$E_m = E + c_3 \cdot E_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right)$$
$$= 200000 + 0,4(24100) \left(\frac{24522,4}{4039,77} \right)$$
$$= 258517 \text{ MPa}$$

$$r_m = r_{\text{pipa}} = 65 \text{ mm}$$

tapi tidak kurang dari $0,3D = 0,3(190,7) = 57,21 \text{ mm}$

OK

$$\lambda_c = \frac{k \cdot L}{r_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} = \frac{4000}{65 \times \pi} \sqrt{\frac{368,99}{258517}} = 0,74$$

Penyelesaian

karena $0,25 < \lambda_c < 1,2$, maka

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(0,74)} = 1,295$$

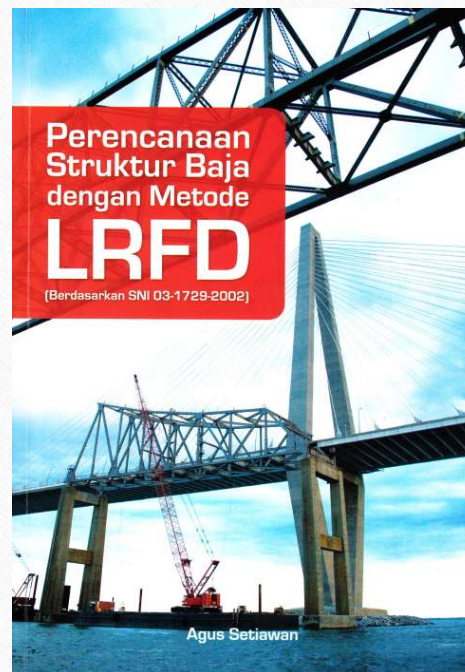
$$f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} = \frac{368,99}{1,295} = 284,93 \text{ MPa}$$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} = 4039,77(284,93) = 1151051,66 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 0,85(1151051,66) = 978393,91 \text{ N} = 97,84 \text{ ton} > P_u (= 96 \text{ ton})$$

Referensi

- Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Agus Setiawan



Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 5 – Balok Lentur

Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

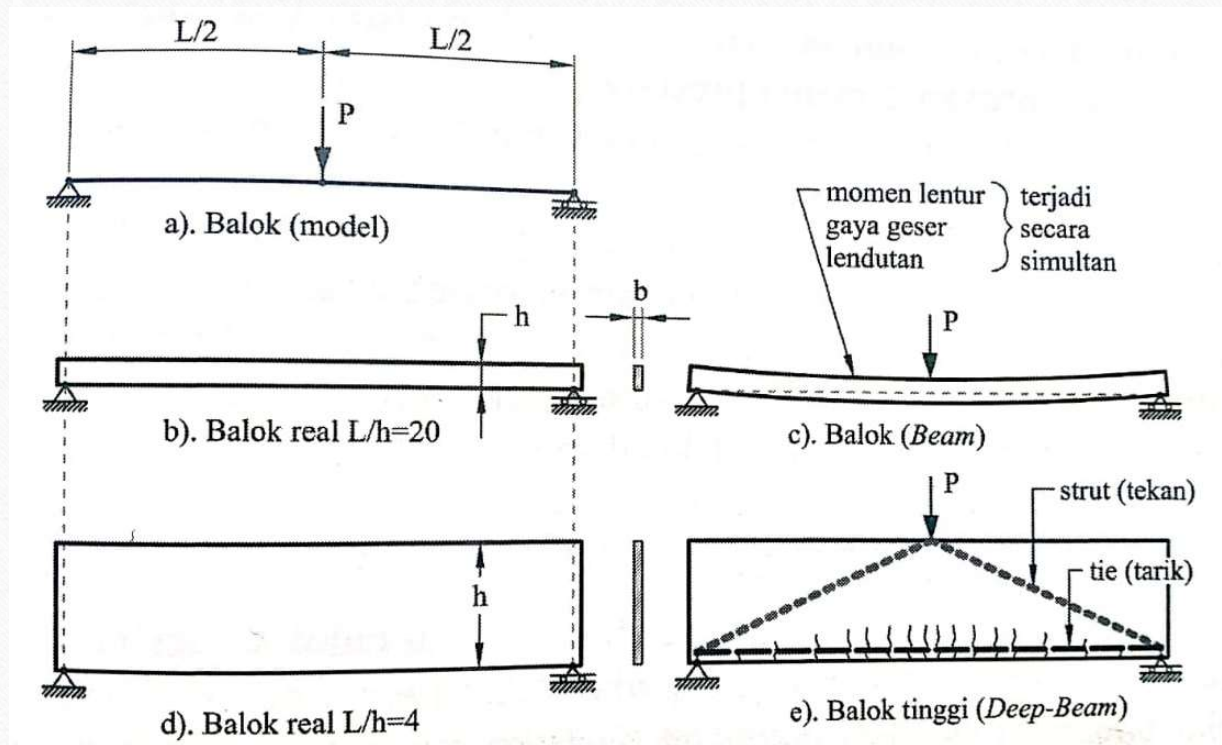
Pendahuluan

Pendahuluan

Istilah balok lentur umumnya merujuk pada struktur yang ditempatkan secara horizontal dan dibebani secara vertikal atau tegak lurus. Untuk analisa struktur dapat dibuat model dengan elemen garis dimana dianggap perilaku **lentur yang dominan**, umumnya terjadi pada balok dengan bentang yang cukup panjang. Selain mekanisme lentur, balok yang dibebani bisa ditemukan perilaku **non lentur**, ini umumnya terjadi pada balok tinggi atau balok dengan bentang yang tidak terlalu besar.

Ciri fisik balok yang **dominan lentur** adalah rasio panjang bentang terhadap tinggi penampang relatif besar, sedangkan ciri balok dengan mekanisme **non lentur** mempunyai rasio panjang bentang terhadap tinggi penampang yang kecil.

Pendahuluan



Gambar 5.1 Dimensi balok dan perilakunya

Pendahuluan

Akibat perbedaan rasio bentang terhadap tinggi (L/h), maka perilakunya dalam memikul beban menjadi berbeda. Bentuk Geometri balok biasa (**Gambar 5.1b**), beban dialihkan dengan mekanisme lentur (**Gambar 5.1c**), sedangkan pada balok tinggi (**Gambar 5.1d**), beban dialihkan menjadi diagonal gaya tekan (**strut**) disisi atas, dan gaya tarik (**tie**) disisi bawah tanpa terjadinya efek lentur.

Pendahuluan

Struktur baja menggunakan produk hasil industri, yang terbatas dalam menentukan dimensi profilnya. Ini memang kelemahannya dibanding struktur beton yang relatif bebas dalam menentukan dimensinya. Pada struktur beton, membuat balok biasa atau balok tinggi (deep beam) tidaklah ditemukan kesulitan yang berarti. Berbeda dengan struktur baja, dimensi penampang umumnya sudah ditentukan terlebih dahulu mengikuti standar yang ditetapkan, tujuannya agar produksinya efisien. Balok baja umumnya menggunakan profil hot-rolled, sedangkan balok tinggi menggunakan profil **built-up section**.

Jika menggunakan **profil-I built-up** yang berperilaku balok tinggi, maka aliran gaya tekan (strut) terjadi pada badan (web), artinya bagian pelat badan yang relatif tipis/langsing beresiko mengalami **tekuk**.

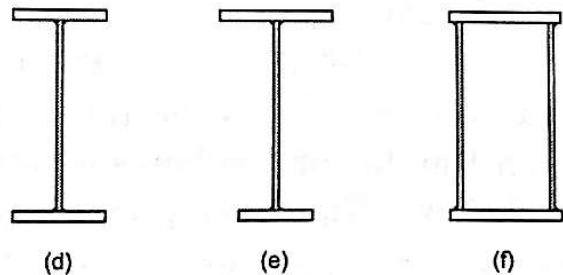
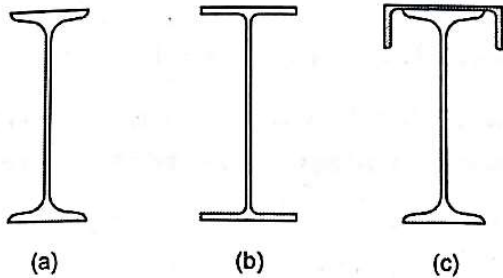
Pemilihan Bentuk Penampang

Pemilihan Bentuk Penampang

Mutu bahan yang tinggi menghasilkan dimensi struktur baja yang relatif langsing dibandingkan struktur beton. Oleh sebab itu pada perencanaan balok baja maka tidak hanya kondisi tegangan, tetapi juga perlu di evaluasi kondisi stabilitasnya juga. Masalah stabilitas adalah masalah permasalahan nonlinier geometri maka parameter penampang, pertambahan lateral dan kondisi tumpuan sangat menentukan, sehingga perlu di evaluasi sekaligus.

Bentuk geometri penampang atau profil baja adalah parameter geometri yang paling mudah diakses. Karena hal itu menentukan kinerjanya, maka langkah awal dalam perencanaan balok adalah memilih bentuk penampang sesuai terhadap kondisi beban dan pertambahan lateral yang ada.

Pemilihan Bentuk Penampang



Profil baja Gambar 6.6a menurut SNI 07-0329-2005 disebut baja profil I-beam proses canai panas (Bj.P I-beam), atau profil I saja. Profil bentuk ini di AISC (1993) dinamakan profil S. Ciri khasnya, permukaan sayap bagian dalam membentuk kemiringan tertentu, cocok dipakai sebagai balok pemikul mesin *hoist* (kerek) pada bangunan industri. Adapun profil pada Gambar 6.6b menurut SNI 07-7178-2006 disebut baja profil WF-beam proses canai panas (Bj.P WF-beam) atau profil WF saja (WF singkatan *Wide Flange*). Profil serupa di Amerika disebut profil W (AISC 1993), di Jepang profil H (JIS G3192), di negara-negara persemakmuran Inggris sebagai profil UB (Universal Beam). Pabrik lain bisa saja memberi nama lain, oleh sebab itu perlu dicermati ukuran dan beratnya.

Pemilihan Bentuk Penampang

Dari segi kekuatan terhadap momen lentur, pada berat yang sama, **profil WF** mempunyai **kinerja lebih baik** daripada **profil I** sehingga sangat populer untuk pekerjaan konstruksi. Profil I dan profil WF dibuat oleh pabrik baja melalui proses canai panas dengan digilas, istilah aslinya **hot-rolled**.

Agar kekuatan material menentukan, maka balok harus dipasang pertambahan lateral yang cukup. Meskipun demikian bentuk profil I mempunyai ketahanan rendah terhadap torsi, sehingga jika dipakai memikul beban langsung, akan beresiko tinggi. Maklum jika bebannya bergeser, tidak terletak tepat bidang simetri, akan timbul torsi selain momen lentur. Kondisi seperti itu tentu berbahaya. Untuk mengatasi hal tersebut maka balok dengan profil I harus terdiri dari minimal dua profil yang dipasang sejajar, diikat dengan rangka sedemikian sehingga dapat berfungsi sebagai pertambahan lateral sekaligus rangka kopel yang mengubah torsi menjadi gaya yang memikul lentur saja.

Pengaruh Kelangsingan Elemen

Tekuk Lokal dan Rasio Lebar-Tebal

Umum diketahui bahwa penampang balok baja terdiri dari profil terbuka dan elemennya relatif tipis. Kelangsingan dapat diukur dari **rasio lebar-tebal**. Jika terjadi tegangan tekan, elemen beresiko mengalami keruntuhan tekuk lokal (***local buckling***).

Sisi lainnya, analisa struktur untuk mencari gaya internal struktur, umumnya hanya memakai permodelan elemen garis sehingga kelangsingan elemen profil tidak terdeteksi. Tekuk lokal tentu tidak bisa diabaikan. Keberadaannya mengurangi kinerja struktur, bahkan memicu kerusakan yang lebih besar. Bagaimanapun juga telah disadari bahwa analisa struktur memprediksi tekuk lokal tersebut adalah tidak mudah (kompleks).

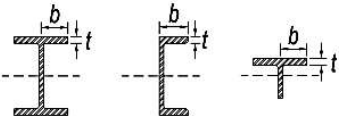
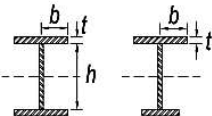

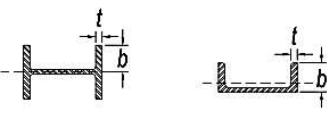

Rasio Lebar-Tebal dan Klasifikasi Penampang

Klasifikasi profil adalah tahapan awal proses perencanaan struktur baja. Cara tersebut dipakai untukantisipasi terhadap bahaya tekuk lokal (**local buckling**) dari elemen-elemen penyusun profil. Cara ini adalah langkah sederhana yang efektif, dimana rasio lebar terhadap tebal (**b/t**) menunjukkan kelangsingan elemen pelat sayap dan badan (**web**), yang kemudian akan dievaluasi berdasarkan kondisi kekangannya (**restraint**).

Elemen-elemen penyusun profil diklasifikasikan sebagai elemen **Kompak, Non-kompak** dan **Langsing**. Klasifikasi elemen pelat penyusun profil balok sangat penting karena menentukan langkah perhitungan dan formulasi yang dipakai.

Klasifikasi Penampang Elemen Tekan yang Memikul Lentur

TABLE B4.1b
Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements
Members Subject to Flexure

Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Examples	
			λ_p (compact/ noncompact)	λ_r (noncompact/ slender)		
Unstiffened Elements	10	Flanges of rolled I-shaped sections, channels, and tees	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ ^{[a] [b]}	
	12	Legs of single angles	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Flanges of all I-shaped sections and channels in flexure about the weak axis	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Stems of tees	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Klasifikasi Penampang Elemen Tekan yang Memikul Lentur

Stiffened Elements	15	Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Webs of singly-symmetric I-shaped sections	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_b} \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_r$ [c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Flanges of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Webs of rectangular HSS and boxes	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Round HSS	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	

[a] $k_c = 4/\sqrt{h/t}$ but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.
 [b] $F_t = 0.7F_y$ for major axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with $S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7$;
 $F_t = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0.5F_y$ for major-axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with $S_{xt}/S_{xc} < 0.7$.
 [c] M_p is the moment at yielding of the extreme fiber. $M_p =$ plastic bending moment, kip-in. (N-mm)
 $E =$ modulus of elasticity of steel = 29,000 ksi (200 000 MPa)
 $F_y =$ specified minimum yield stress, ksi (MPa)

Perilaku Penampang Kompak, Non-Kompak dan Langsing

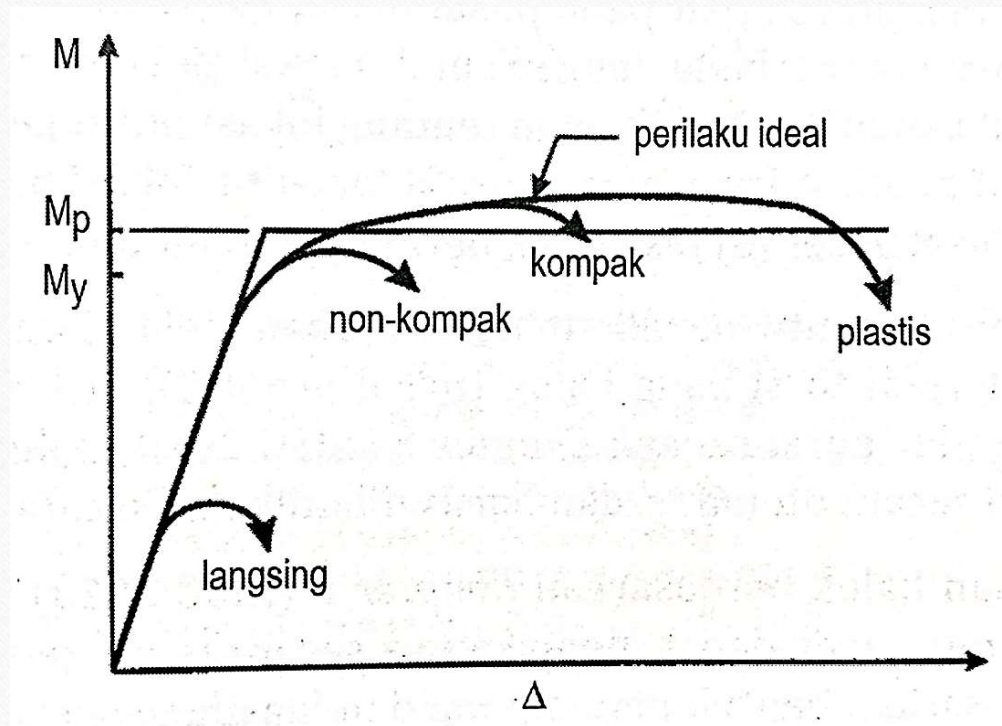
Profil kompak merupakan konfigurasi geometri penampang yang paling efisien dalam memanfaatkan material. Itu alasan mengapa hampir sebagian besar profil WF Hot-rolled buatan pabrik, termasuk pada kategori kompak. Karena kemampuan profil mencapai momen plastis, perilaku keruntuhannya bersifat duktail, sehingga menjadi syarat penting bangunan tahan gempa.

Penampang non-kompak mempunyai efisiensi satu tingkat lebih kecil dibanding penampang kompak dan ketika dibebani serat tepi terluarnya dapat mencapai tegangan leleh, meskipun demikian sebelum penampang plastis penuh terbentuk, profil akan mengalami tekuk lokal terlebih dahulu. Oleh karena itu kapasitas momen yang dapat diandalkan pada penampang ini adalah $M_y < M_p$.

Perilaku Penampang Kompak, Non-Kompak dan Langsing

Penampang Langsing adalah konfigurasi profil yang tidak efisien ditinjau dari segi pemakaian material. Apalagi jika yang dipakai adalah bahan baja bermutu tinggi. Jadi saat dibebani sebelum tegangan mencapai kondisi leleh telah terjadi tekuk lokal terlebih dahulu. Oleh karena keruntuhannya ditentukan oleh tekuk, yang sifatnya tidak duktail, maka penampang langsing tidak disarankan digunakan sebagai elemen struktur utama, apalagi untuk bangunan tahan gempa. Kapasitas momen balok adalah $M < M_y$.

Perilaku Penampang Kompak, Non-Kompak dan Langsing



Perilaku penampang berdasarkan klasifikasinya

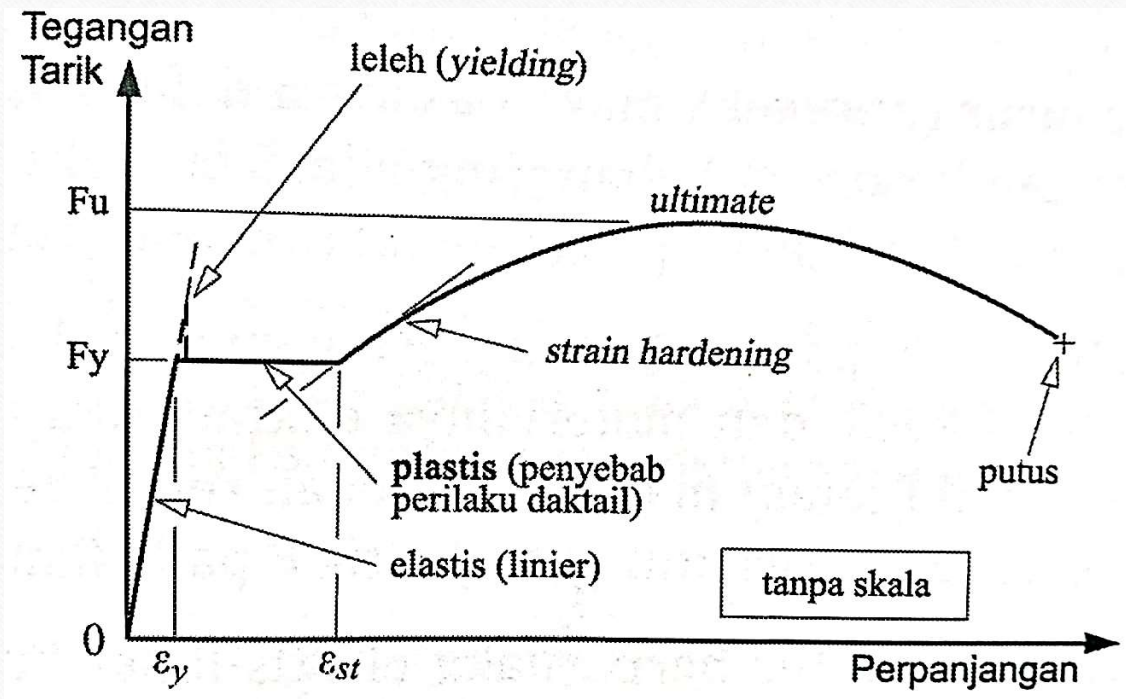
Perilaku dan Parameter Perencanaan Balok

Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur

Agar kondisi batas yang menentukan kekuatan balok lentur dapat dipahami dengan baik, maka langkah awal adalah mengetahui perilaku keruntuhan elemen struktur yang dibebani.

Elemen dengan tegangan tarik perilakunya relatif sederhana, sebagaimana terlihat pada kurva **tegangan-regangan** saat mencari sifat mekanik material. Kuat tariknya tergantung **tegangan leleh (F_y)**. Jika pada kondisi leleh dan beban tetap ditambahkan, material akan mengalami strain-hardening, terjadi peningkatan daya dukung tetapi disertai dengan fenomena **necking** (penampang mengecil), dan jika dipaksa terus akhirnya akan mencapai kuat maksimum atau **kuat ultimate (F_u)**. Setelah itu akan terjadi fraktur (retak) dan akhirnya akan putus secara tiba-tiba dan cepat (**brittle**).

Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur

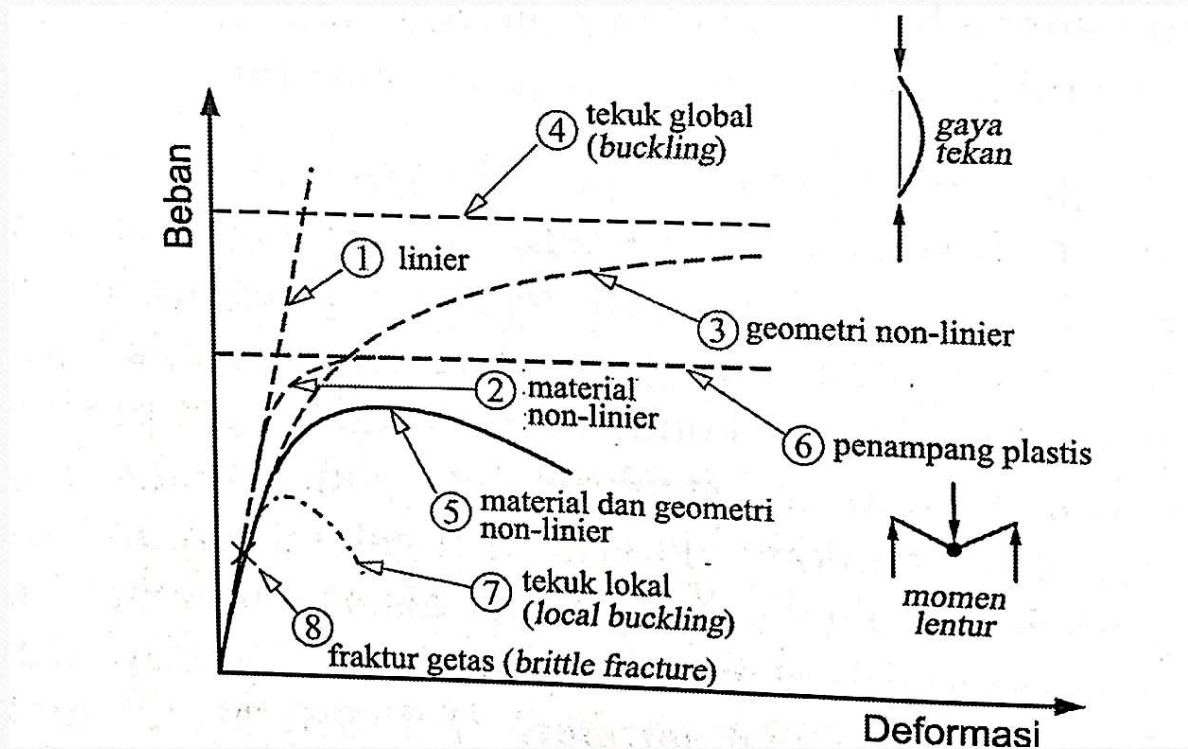


Perilaku keruntuhan batang tarik baja duktail

Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur

Elemen dengan tegangan tekan mempunyai perilaku keruntuhan lebih kompleks, meskipun kondisi batas material hanya memperhitungkan leleh. Maklum fraktur atau terjadi deformasi dengan pemisahan material, tidak terlihat pada kondisi tegangan tekan. Kecuali ditentukan oleh kuat material (leleh), kondisi geometri elemen (bentuk penampang dan pertambahan lateral) akan berpengaruh, dapat terjadi tekuk atau keruntuhan struktur tanpa mengalami leleh terlebih dahulu. Untuk mempelajari perilaku keruntuhan elemen struktur tekan bisa dilihat pada gambar berikut.

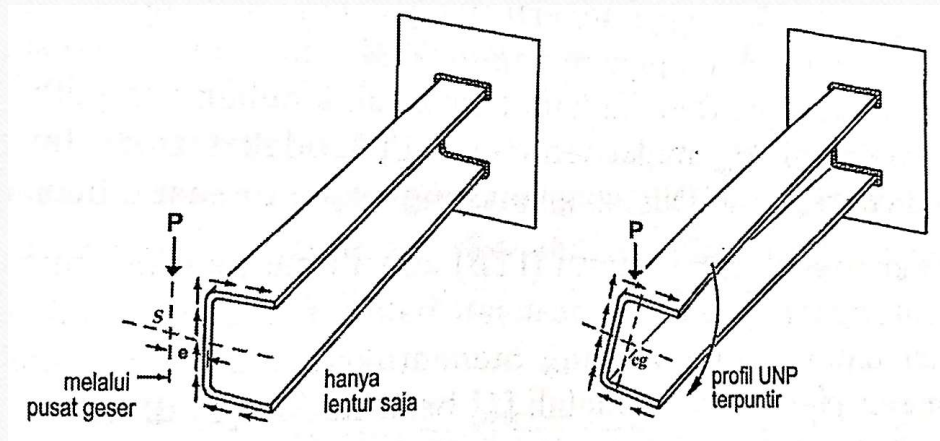
Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur



Perilaku keruntuhan elemen struktur

Stabilitas Terhadap Tekuk Torsi Lateral

Telah dipahami, struktur kantilever dengan profil UNP (Channel) yang dibebani pada **pusat berat (cg)** mengalami puntir. Untuk menghindari, beban dipindah ke **pusat geser (S)** seperti gambar berikut.



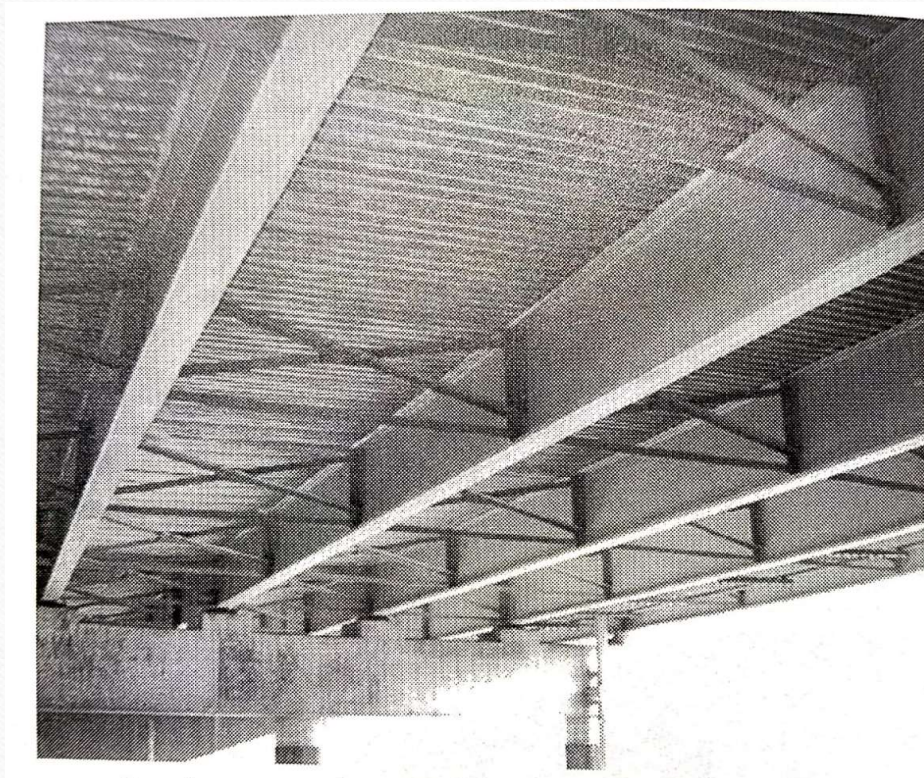
Perilaku struktur kantilever dengan profil UNP

Stabilitas Terhadap Tekuk Torsi Lateral

Profil I simetri ganda, pusat berat berhimpit dengan pusat geser, sehingga tidak seperti profil UNP, tidak mengalami puntir. Fakta menunjukkan ternyata kantilever profil I dapat mengalami rotasi (**puntir**) dan bertransalasi arah **lateral**. Kondisi ini disebut tekuk torsi lateral (***lateral torsional buckling***) atau disingkat **LTB**.

Fenomena tekuk torsi lateral (**LTB**) adalah hal penting yang perlu diperhitungkan pada perencanaan balok, merupakan salah satu kondisi geometri yang menentukan kuat lentur nominal. Parameter geometrinya adalah **[1] bentuk** dan **[2] dimensi profil**, serta **[3] jarak antara pertambatan lateral** atau ***lateral bracing (L_b)*** yang dipasang untuk mencegah terjadinya **LTB**.

Stabilitas Terhadap Tekuk Torsi Lateral



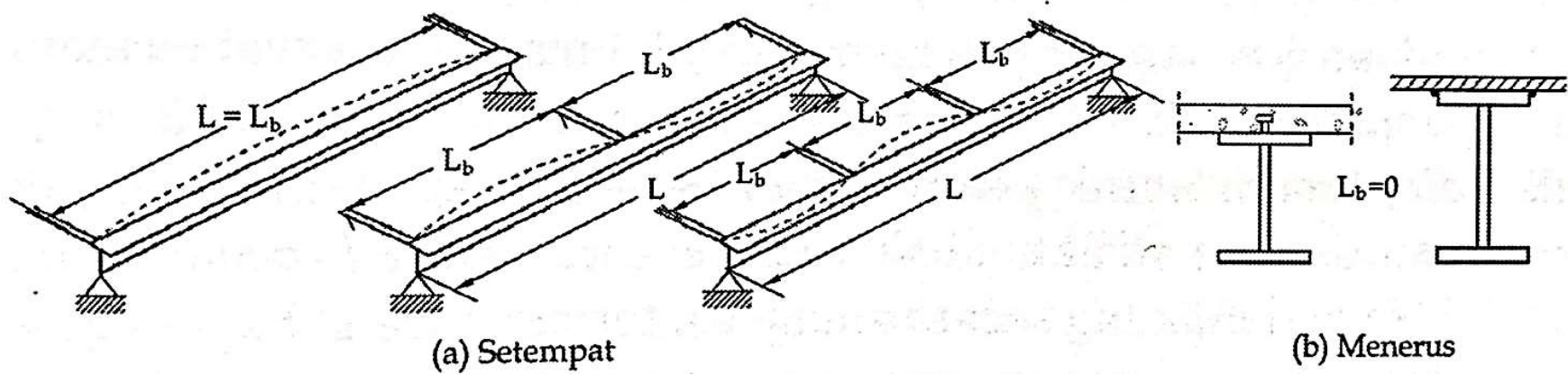
Contoh pertambatan lateral pada jembatan

Pertambahan Lateral Balok

Pertambahan lateral balok atau lateral bracing adalah kondisi geometri, bisa berupa elemen atau struktur khusus tambahan, bisa elemen lain yang terhubung dengan balok, yang berfungsi mencegah balok mengalami tekuk torsi lateral (LTB). Agar bekerja sebagai lateral bracing, struktur yang dimaksud dapat "**memegang**" komponen balok yang mengalami tekan, yang berpotensi mengalami LTB.

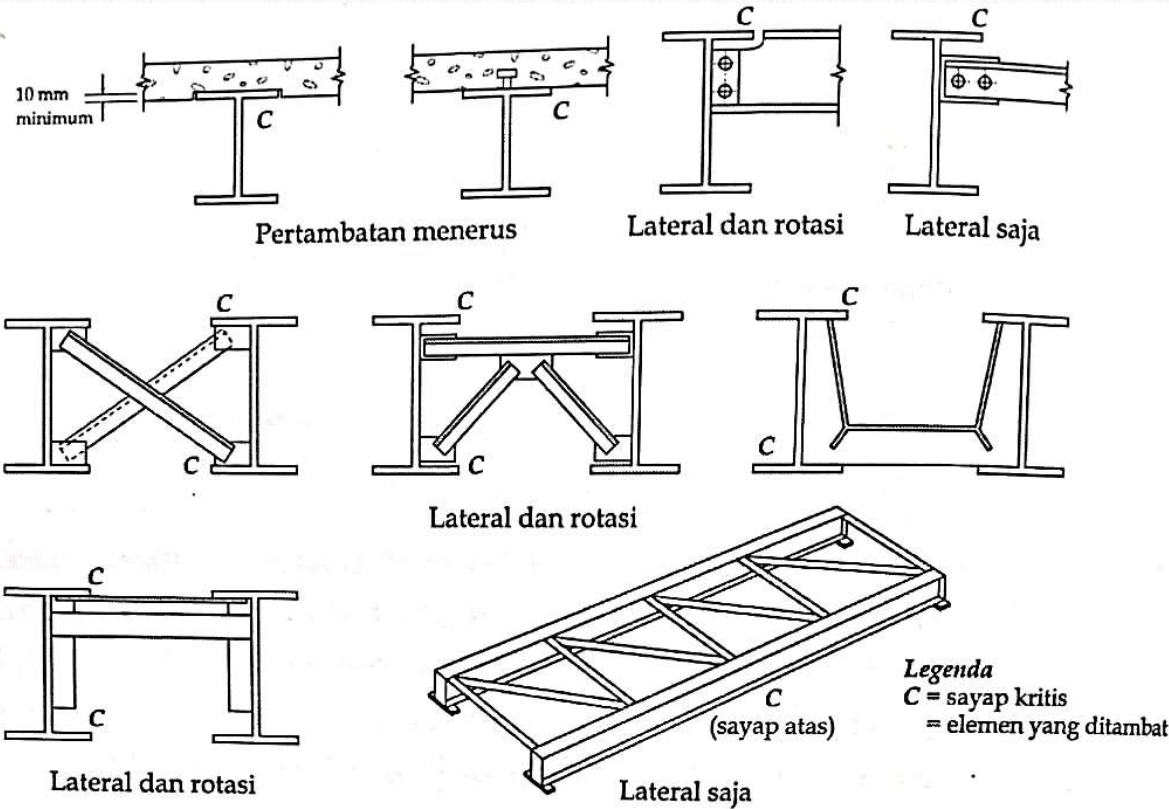
Sistem pertambahan lateral bisa **setempat** atau **menerus**. Untuk yang setempat, minimal harus dipasang pada titik-titik tumpuannya, adapun **L_b** adalah jarak antar pertambahan lateral setempat sedangkan **L** adalah bentang balok.

Pertambatan Lateral Balok



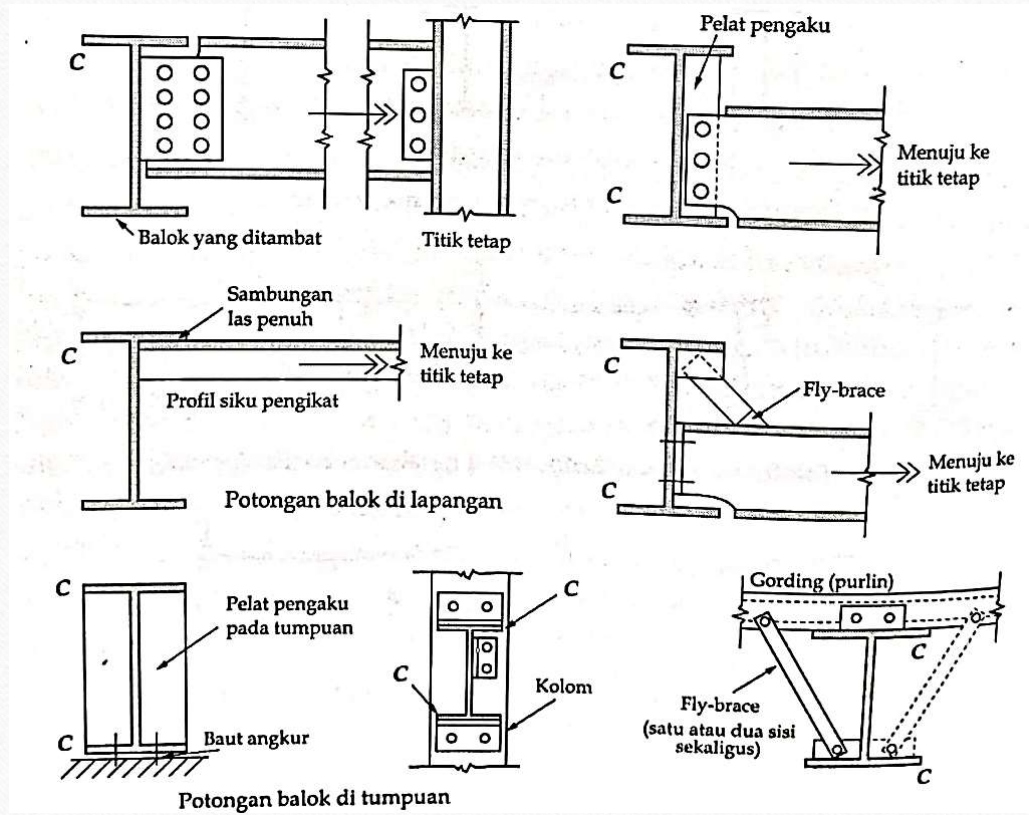
Kondisi pertambatan lateral pada balok

Pertambatan Lateral Balok



Contoh pertambatan lateral pada balok

Pertambatan Lateral Balok



Contoh pertambatan lateral pada balok

Balok Terkekang Lateral

Desain Balok Terkekang Lateral

Tahanan balok dalam desain LRFD harus memenuhi persyaratan:

$$\phi_b \cdot M_n > M_u$$

5.7

Dengan: $\phi_b = 0,90$

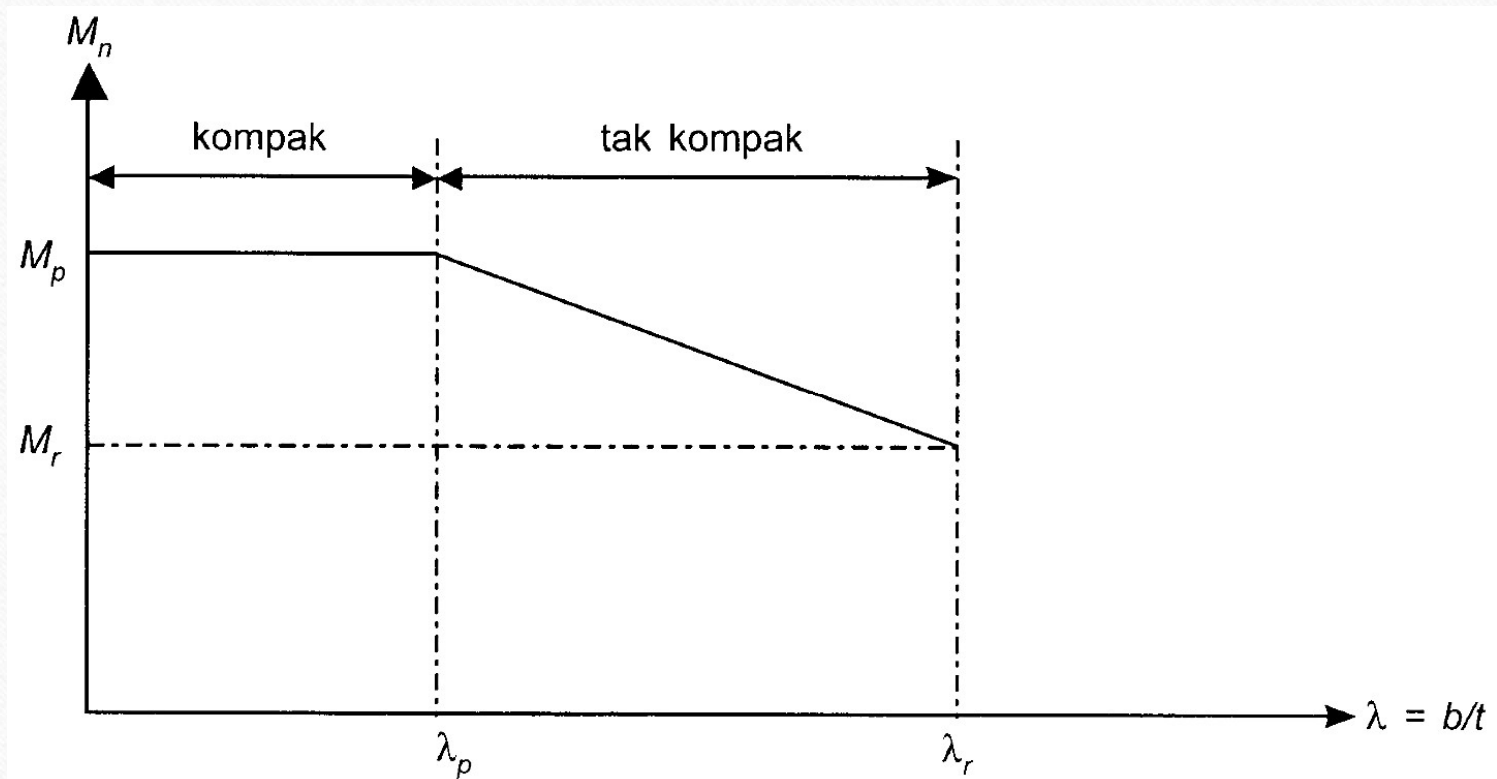
M_n = tahanan momen nominal

M_u = momen lentur akibat beban terfaktor

Dalam perhitungan tahanan momen nominal dibedakan antara penampang kompak, tak kompak, dan langsing seperti halnya saat membahas batang tekan. Batasan penampang kompak, tak kompak, dan langsing adalah:

1. Penampang kompak : $\lambda < \lambda_p$
2. Penampang tak kompak : $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Langsing : $\lambda > \lambda_r$

Desain Balok Terkekang Lateral



Tahanan Momen Nominal Penampang Kompak dan Tak Kompak

Desain Balok Terkekang Lateral

PENAMPANG KOMPAK

Tahanan momen nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak:

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \quad 5.8$$

Dengan: M_p = tahanan momen plastis
 Z = modulus plastis
 f_y = kuat leleh

PENAMPANG TAK KOMPAK

Tahanan momen nominal pada saat $\lambda = \lambda_r$ adalah:

$$M_n = M_r = (f_y - f_r) \cdot S \quad 5.9$$

Dengan: f_y = tahanan leleh
 f_r = tegangan sisa
 S = modulus penampang

Besarnya tegangan sisa $f_r = 70$ MPa untuk penampang gelas panas, dan 115 MPa untuk penampang yang dilas.

Desain Balok Terkekang Lateral

Bagi penampang tak kompak yang mempunyai $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$, maka besarnya tahanan momen nominal dicari dengan melakukan interpolasi linear, sehingga diperoleh:

$$M_n = \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} M_p + \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} M_r \quad 5.10$$

Dengan: λ = kelangsingan penampang balok ($= b/2t_f$)

λ_r, λ_p = tabel 7.5-1 Peraturan Baja

Untuk balok-balok hibrida di mana $f_{yf} > f_{yw}$ maka perhitungan M_r harus didasarkan pada nilai terkecil antara $(f_{yf} - f_r)$ dengan f_{yw} .

Lendutan balok

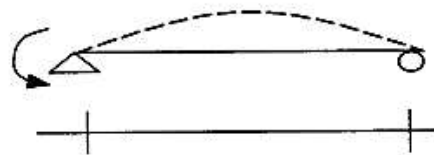
Lendutan Balok

Dalam perencanaan balok, SNI 1729-2002 membatasi besarnya lendutan yang timbul pada balok. Dalam pasal tersebut disyaratkan lendutan maksimum balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah sebesar $L/360$, sedangkan untuk balok biasa lendutan tidak boleh lebih dari $L/240$. pembatasan ini dimaksudkan agar balok memberikan kemampuan layanan yang baik (serviceability). Besar lendutan pada beberapa jenis pembebanan balok yang umum terjadi ditunjukkan sebagai berikut:

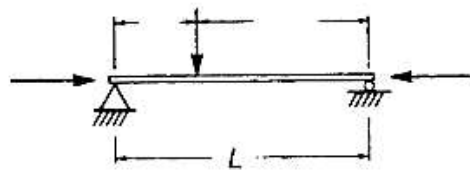
Lendutan Balok



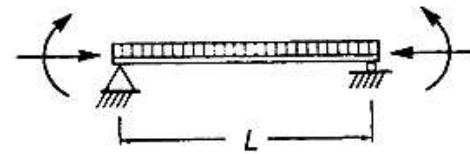
$$\Delta_{L/2} = -\frac{M_1 \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I}$$



$$\Delta_{L/2} = \frac{5 \cdot q_0 \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5}{48} \left(\frac{1}{8} q_0 \cdot L^2 \right) \frac{L^2}{EI} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_0 \cdot L^2}{E \cdot I}$$



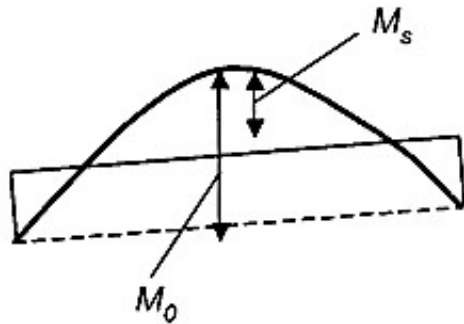
$$\Delta_{L/2} = \frac{P \cdot b(3L^2 - 4b^2)}{48 \cdot E \cdot I}$$



$$\Delta_{L/2} = \frac{5}{48} \frac{M_0 \cdot L^2}{EI} - \frac{M_1 \cdot L^2}{16EI} - \frac{M_2 \cdot L^2}{16EI}$$

$$\Delta_{L/2} = \frac{L^2}{48 \cdot EI} (5M_0 - 3M_1 - 3M_2)$$

Lendutan Balok



Karena $M_0 = M_s + 0,5(M_1 + M_2)$, maka

$$\Delta_{L/2} = \frac{5 \cdot L^2}{48 \cdot EI} (M_s - 0,1 \cdot M_1 - 0,1 \cdot M_2)$$

Dalam beberapa kasus tertentu, terkadang masalah batasan lendutan lebih menentukan dalam pemilihan profil balok daripada tahanan momennya.

Lendutan Balok

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, lendutan balok maksimum dibatasi sesuai tabel sebagai berikut:

Tabel 6.4-1 Batas lendutan maksimum¹.

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

Note : L = Panjang bentang

h = tinggi lantai

Beban tetap = Beban Mati + Beban Hidup

Beban sementara = Beban Permanen + Beban Dinamik

Kuat Geser Nominal

Kuat Geser Nominal

Dalam contoh 5.5 tampak bahwa gaya geser sebagian besar dipikul oleh web jika web dalam kondisi stabil (artinya ketidakstabilan akibat kombinasi geser dan lentur tak terjadi). Kuat geser nominal pelat web ditentukan oleh SNI 03-1729-2002 pasal 8.8.3, yaitu:

$$V_n = \tau_y \cdot A_w \approx 0,60 \cdot f_{yw} \cdot A_w \quad 5.20$$

Dengan: f_{yw} = kuat leleh web
 A_w = luas penampang web

Persamaan 5.20 dapat digunakan bila dipenuhi syarat kelangsingan untuk tebal pelat web sebagai berikut:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_{yw}}} \quad 5.21$$

Dan kuat geser rencana harus memenuhi persamaan:

$$\phi_v \cdot V_n \geq V_u$$

Desain Balok LRFD

Desain Balok LRFD

Setiap komponen struktur yang memikul momen lentur, harus memenuhi persyaratan:

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u \quad 9.46$$

dengan: ϕ_b adalah faktor reduksi untuk lentur = 0,90
 M_n adalah kuat nominal momen lentur dari penampang
 M_u adalah beban momen lentur terfaktor

Desain Balok LRFD

Besarnya kuat nominal momen lentur dari penampang ditentukan sebagai berikut:

Kasus 1: $M_n = M_p$ ($R \geq 3$)

Agar penampang dapat mencapai kuat nominal $M_n = M_p$, maka penampang harus kompak untuk mencegah terjadinya tekuk lokal. Syarat penampang kompak ditentukan sesuai dengan Tabel 7.5-1 SNI 03-1729-2002, yaitu λ untuk flens ($b/2t_f$) dan untuk web (h/t_w) tidak boleh melebihi λ_p . Batasan nilai untuk λ_p ditampilkan pada Tabel 9.1. Selain harus kompak, pengaku lateral harus diberikan sehingga panjang bentang tak terkekang, L , tidak melebihi L_{pd} yang diperoleh dari Persamaan 9.44.

$$L_{pd} = \frac{25.000 + 15.000 \left(\frac{M_1}{M_p} \right)}{f_y} \times r_y \quad 9.47$$

Desain Balok LRFD

Kasus 2: $M_n = M_p$ ($R < 3$)

Agar penampang dapat mencapai momen plastis M_p dengan kapasitas rotasi $R < 3$, maka penampang harus kompak dan tidak terjadi tekuk lokal ($b/2t_f$ dan $h/t_w < \lambda_p$). Pengaku lateral harus diberikan sehingga panjang bentang tak terkekang L tidak melebihi L_p yang ditentukan oleh Persamaan 9.43 (untuk $C_b = 1$).

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{untuk } E = 200.000 \text{ MPa})$$

9.48

Desain Balok LRFD

Kasus 3: $M_p > M_n \geq M_r$

Dalam kasus 3 terjadi tekuk torsi lateral untuk penampang kompak ($\lambda \leq \lambda_p$). Kuat momen nominal didekati dengan hubungan linear antara titik 1 (L_p, M_p) dengan titik 2 (L_r, M_r) pada Gambar 9.5. Kuat momen lentur nominal dalam kasus 3 ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 (Pasal 8.3.4).

$$M_n = C_b \cdot \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad 9.49$$

M_r adalah kuat nominal yang tersedia untuk beban layan ketika serat terluar penampang mencapai tegangan f_y (termasuk tegangan residu) dan dapat diekspresikan sebagai:

$$M_r = S_x(f_y - f_r) \quad 9.50$$

Desain Balok LRFD

dengan: f_y adalah tegangan leleh profil
 f_r adalah tegangan residu (70 MPa untuk penampang dirol dan 115 MPa untuk penampang dilas)
 S_x adalah modulus penampang

Panjang L_r diperoleh dari Persamaan 9.45:

$$L_r = \frac{X_1 \cdot r_y}{f_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}} \quad 9.51$$

$$\text{dengan: } f_L = f_y - f_r \quad 9.52.a$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad 9.52.b$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{C_w}{I_y} \quad 9.52.c$$

Desain Balok LRFD

TABEL 9.1 Batasan Rasio Kelangsingan λ_p untuk Penampang Kompak Balok I

(Modulus Elastisitas, $E = 200.000$ MPa)

Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tekuk Lokal Flens $\frac{b}{2t_f} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Torsi Lateral $\frac{L}{r_y} = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$
210	11,73	115,93	54,52
240	10,97	108,44	50,99
250	10,75	106,25	46,96
290	9,98	98,65	46,39
410	8,4	82,97	39,02

Desain Balok LRFD

TABEL 9.1 Batasan Rasio Kelangsingan λ_p untuk Penampang Kompak Balok I

(Modulus Elastisitas, $E = 200.000$ MPa)

Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tekuk Lokal Flens $\frac{b}{2t_f} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Torsi Lateral $\frac{L}{r_y} = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$
210	11,73	115,93	54,52
240	10,97	108,44	50,99
250	10,75	106,25	46,96
290	9,98	98,65	46,39
410	8,4	82,97	39,02

Desain Balok LRFD

Kasus 4: $M_p > M_n \geq M_r$

Kasus ini terjadi jika:

1. $L_p < L < L_r$
2. $\lambda_p < (\lambda = b/2 \cdot t_f) < \lambda_r$ (flens tidak kompak)
3. $\lambda_p < (\lambda = h/t_w) < \lambda_r$ (web tidak kompak)

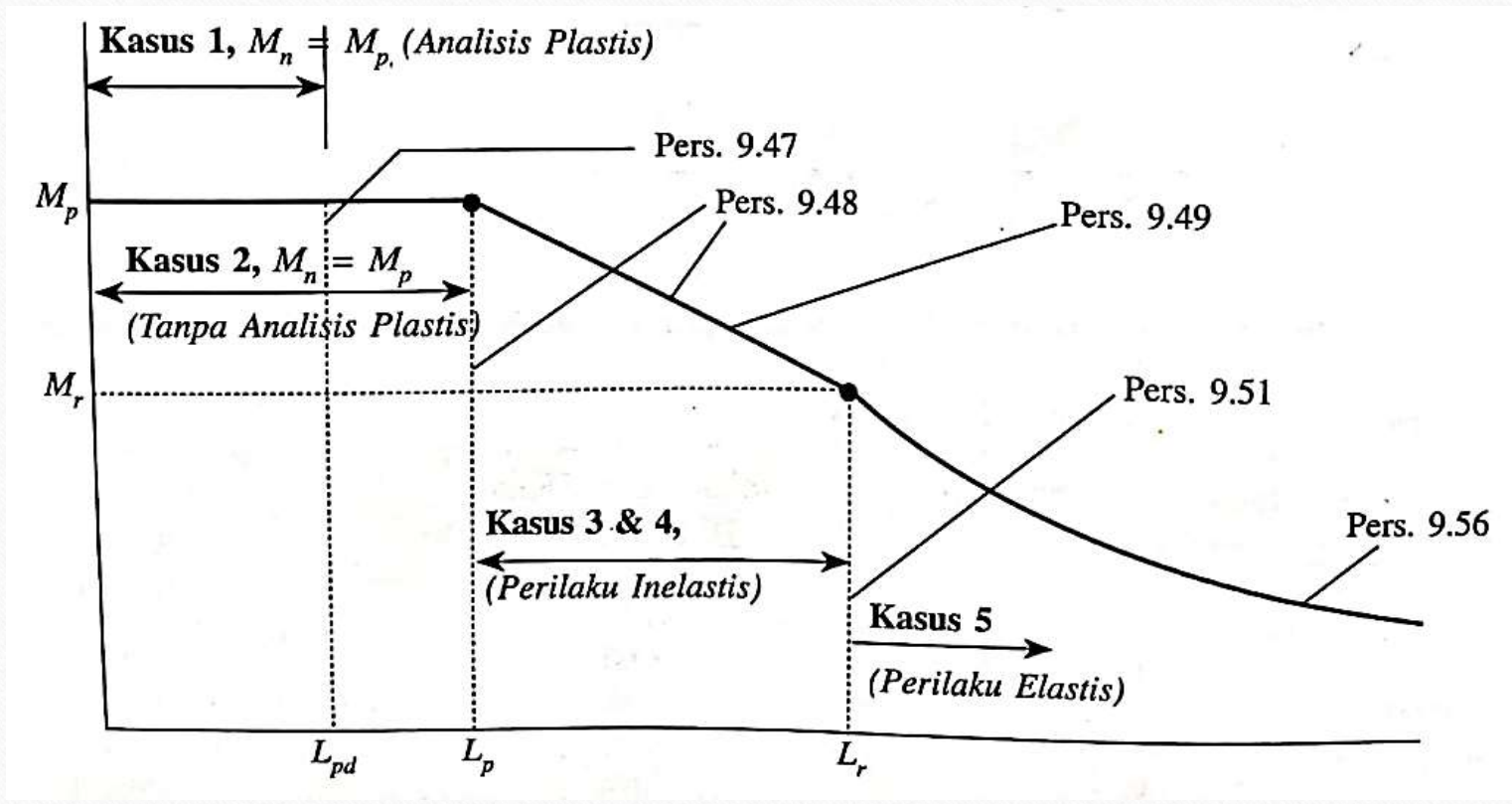
Kuat momen lentur nominal dalam kasus 4 harus dihitung berdasarkan keadaan yang paling kritis dari tekuk lokal flens, tekuk lokal web serta tekuk torsi lateral. Untuk membatasi tekuk lokal flens serta tekuk lokal web, SNI 03-1729-2002 (Pasal 8.2.4) merumuskan:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad 9.53$$

Sedangkan kondisi batas untuk tekuk torsi lateral ditentukan berdasarkan:

$$M_n = C_b \cdot \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad 9.54$$

Desain Balok LRFD



Kuat Momen Nominal Akibat Tekuk Torsi Lateral

Desain Balok LRFD

Dengan faktor pengali momen, C_b , ditentukan oleh persamaan:

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{\text{maks}}}{2,5M_{\text{maks}} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3 \quad 9.55$$

dengan: M_{maks} adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau
 M_A adalah momen pada $1/4$ bentang tak terkekang
 M_B adalah momen pada tengah bentang tak terkekang
 M_C adalah momen pada $3/4$ bentang tak terkekang

Kuat momen lentur nominal dalam kasus 4 ini diambil dari nilai yang terkecil antara Persamaan 9.53 dan 9.54. Batasan rasio kelangsingan penampang, λ_r , untuk penampang tidak kompak ditampilkan dalam Tabel 9.2.

Desain Balok LRFD

Kasus 5: $M_n < M_r$

Kasus 5 terjadi bila $L > L_r$ dan kelangsingan dari flens serta web tak melebihi λ_r (penampang kompak). Kuat nominal momen lentur dalam kondisi ini ditentukan sebagai berikut:

$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y \cdot C_w} \quad 9.56$$

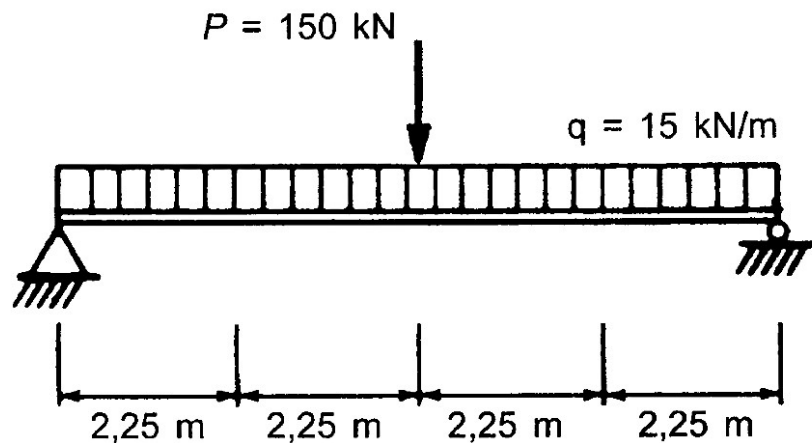
Persamaan 9.56 dapat pula dituliskan dengan menggunakan variabel X_1 dan X_2 seperti dalam Persamaan 9.52.b dan c, sehingga menjadi:

$$M_n = M_{cr} = \frac{C_b \cdot S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{\frac{L}{r_y}} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2 \left(\frac{L}{r_y}\right)^2}} \quad 9.57$$

Contoh Soal

Contoh Soal 1

Sebuah balok tertumpu sederhana dengan beban seperti dalam gambar di bawah ini.



Beban merata terdiri dari 15% D dan 85% L , beban terpusat terdiri dari 40% D serta 60% L . Balok tersebut diberi sokongan lateral pada ujung-ujungnya serta setiap jarak $2,25 \text{ m}$. Mutu baja adalah BJ 37.

Penyelesaian

JAWAB:

$$q_u = 1,2(0,15)(15) + 1,6(0,85)(15) = 2,7 + 20,4 = 23,1 \text{ kN/m}$$

$$P_u = 1,2(0,4)(150) + 1,6(0,6)(150) = 72 + 144 = 216 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{1}{8}(23,1)(9)^2 + \frac{1}{4}(216)(9) = 233,8875 + 486 = 719,8875 \text{ kN.m}$$

$$M_{n \text{ perlu}} = M_u / \phi_b = 719,8875 / 0,9 = 799,875 \text{ kN.m}$$

Penyelesaian

Estimasikan apakah sokongan lateral cukup dekat untuk mendesain balok agar dapat mencapai momen plastis, M_p (tanpa analisa plastis). Asumsikan penampang kompak untuk mencegah tekuk lokal, dan balok berada dalam kasus 2 ($M_n = M_p$).

Panjang maksimal bentang tak terkekang adalah:

$$L_p = \frac{790 \cdot r_y}{\sqrt{f_y}} = \frac{790 \cdot r_y}{\sqrt{240}} = 50,99 \cdot r_y$$

$$M_n \text{ perlu} = M_p \text{ perlu} = 799,875 \text{ kN.m}$$

$$Z_x \text{ perlu} = \frac{M_{p \text{ perlu}}}{f_y} = \frac{799,875 \cdot 10^6}{240} = 332.812,5 \text{ mm}^3$$

Penyelesaian

Penampang terkecil yang memiliki $Z_x \geq 3.332.812,5 \text{ mm}^3$ adalah 400.400.13.21 ($Z_x = 3600,13 \text{ cm}^3$).

Periksa kuat momen lentur nominal dari penampang, dengan menyertakan berat sendiri balok:

$$M_u \text{ (berat sendiri)} = 1,2 \cdot \frac{1}{8} (1,72)(9)^2 = 20,898 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 719,8875 + 20,898 = 740,7855 \text{ kN.m}$$

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y = 3600,13 \cdot 10^3 (240) = 864,0312 \text{ kN.m}$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \times 864,0312 = 777,628 \text{ kN.m} > M_u (= 740,7855 \text{ kNm})$$

Penyelesaian

Cek kelangsingan penampang:

$$\frac{b}{2.t_f} = \frac{400}{2 \times 21} = 9,52 < \frac{170}{\sqrt{f_y}} (= 10,97)$$

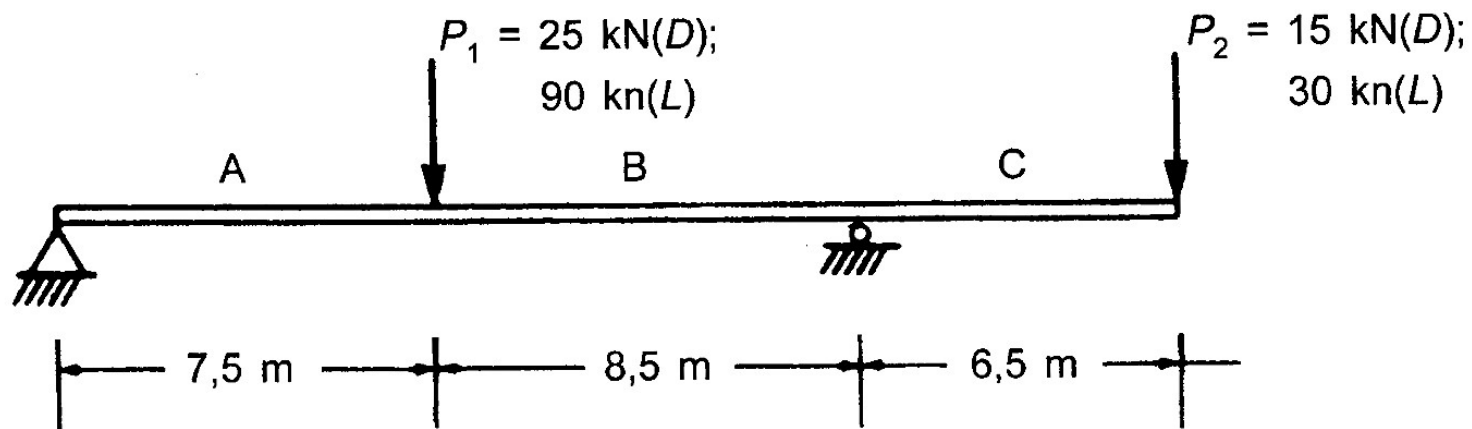
$$\frac{b}{t_w} = \frac{400 - 2(21)}{13} = 27,53 < \frac{1680}{\sqrt{f_y}} (= 108,44)$$

$$L_p = 50,99.r_y = 50,99(101) = 5149,99 \text{ mm} = 5,14999 \text{ m}$$

$$L_p > L (= 2,25 \text{ m}) \quad \rightarrow \text{sesuai asumsi awal, termasuk kasus 2.}$$

Contoh Soal 2

Pilihlah penampang WF yang ekonomis bagi balok pada struktur di bawah ini. Sokongan lateral dipasang pada kedua tumpuan serta pada kedua lokasi beban terpusat. (mutu baja BJ 37)

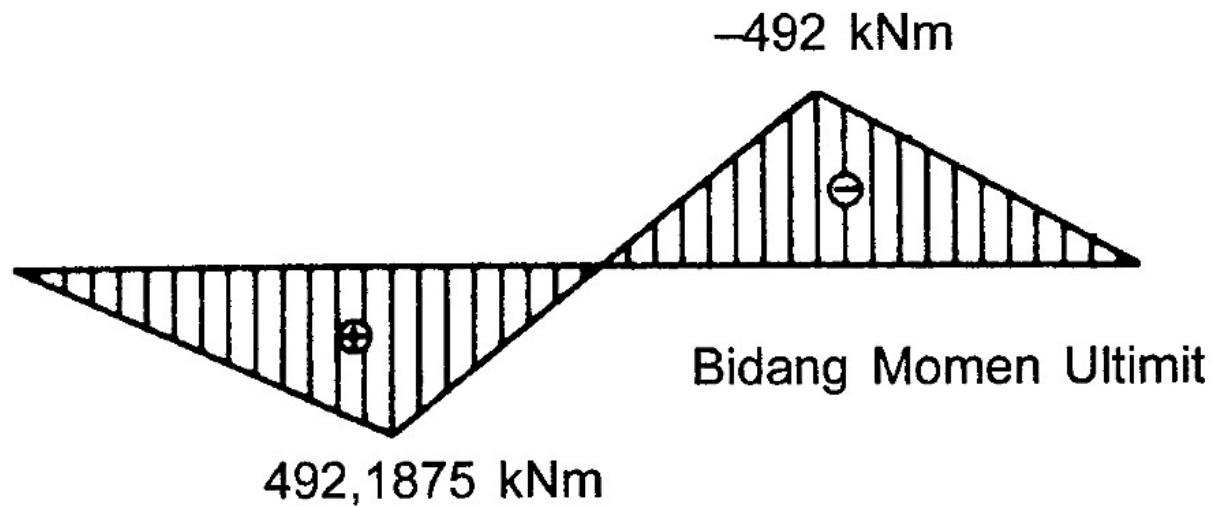


Penyelesaian

JAWAB:

$$P_{u1} = 1,2(25) + 1,6(90) = 174 \text{ kN}$$

$$P_{u2} = 1,2(15) + 1,6(30) = 66 \text{ kN}$$



Penyelesaian

Dicoba menggunakan profil WF 600.200.11.17.

Cek kelangsingan penampang:

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{200}{2 \times 17} = 5,88 < 10,97$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{600}{11} = 54,54 < 108,44$$

} Penampang Kompak

Penyelesaian

Segmen A dan C:

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{492,1875}{0,9} = 546,875 \text{ kN.m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y = \frac{790}{\sqrt{240}} \times 41,2 = 2100,96 \text{ mm}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} = \frac{\pi}{2590 \cdot 10^3} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 \times 8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4 \times 134,4 \cdot 10^2}{2}}$$
$$= 11977,92346 \text{ MPa}$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)^2 \frac{C_w}{I_y} = 4 \left(\frac{2590 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4} \right)^2 \frac{1926037,67 \cdot 10^6}{2280 \cdot 10^4}$$
$$= 4,31282 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^4/\text{N}^2$$

Penyelesaian

$$\begin{aligned}L_r &= r_y \cdot \left(\frac{X_1}{f_y - f_r} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (f_y - f_r)^2}} \\&= 41,2 \cdot \left(\frac{11977,92346}{240 - 70} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + 4,31282 \cdot 10^{-4} (240 - 70)^2}} \\&= 6272,73 \text{ mm} = 6,273 \text{ m}\end{aligned}$$

Karena $L (= 7,5 \text{ m}) > L_r (= 6,273 \text{ m})$ dan penampang kompak, maka soal ini termasuk kasus 5.

Penyelesaian

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 2863,18 \cdot 10^3 (240) = 687,16 \text{ kN.m}$$

$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E}{L} \right)^2 \cdot I_y \cdot C_w}$$

Karena $M_1/M_2 = 0$, maka $C_b = 1,67$

$$M_n = 1,67 \frac{\pi}{7500} \sqrt{2 \cdot 10^5 \times 2,28 \cdot 10^7 \times 8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4 + \left(\frac{\pi \cdot 2 \cdot 10^5}{7500} \right)^2 \cdot 2,28 \cdot 10^7 \times 1926037,67 \cdot 10^6}$$

$$M_n = 559,4244 \text{ kN.m} < M_p$$

OK

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9(559,4244) = 503,482 \text{ kNm} > M_u (= 492,1875 \text{ kN.m})$$

Penyelesaian

Segmen B:

$$L (= 8,5 \text{ m}) > L_r (= 6,273 \text{ m}) \rightarrow \text{kasus 5}$$

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$M_{\max} = 492,1875 \text{ kNm}$$

$$M_A = 261,890625 \text{ kNm}$$

$$M_B = 31,59375 \text{ kNm}$$

$$M_C = 198,703125 \text{ kNm}$$

Penyelesaian

$$C_b = \frac{12,5 \times 492,1875}{(2,5 \times 492,1875) + (3 \times 261,890625) + (4 \times 31,59375) + (3 \times 198,703125)}$$
$$= 2,24$$

$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E}{L} \right)^2 \cdot I_y \cdot C_w}$$

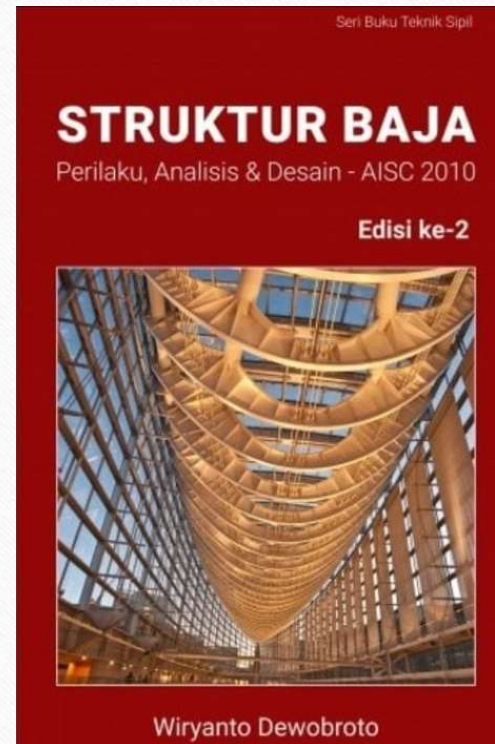
$$M_n = 2,24 \cdot \frac{\pi}{8500} \sqrt{2 \cdot 10^5 \times 2,28 \cdot 10^7 \times 8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4 + \left(\frac{\pi \times 2 \cdot 10^5}{8500} \right)^2 \cdot 2,28 \cdot 10^7 \times 1926037,67 \cdot 10^6}$$

$$M_n = 625,702 \text{ kN}\cdot\text{m} < M_p$$

OK

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9(625,702) = 563,1315 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_u (= 492,1875 \text{ kN}\cdot\text{m})$$

Referensi



Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 5 – Balok Lentur

Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

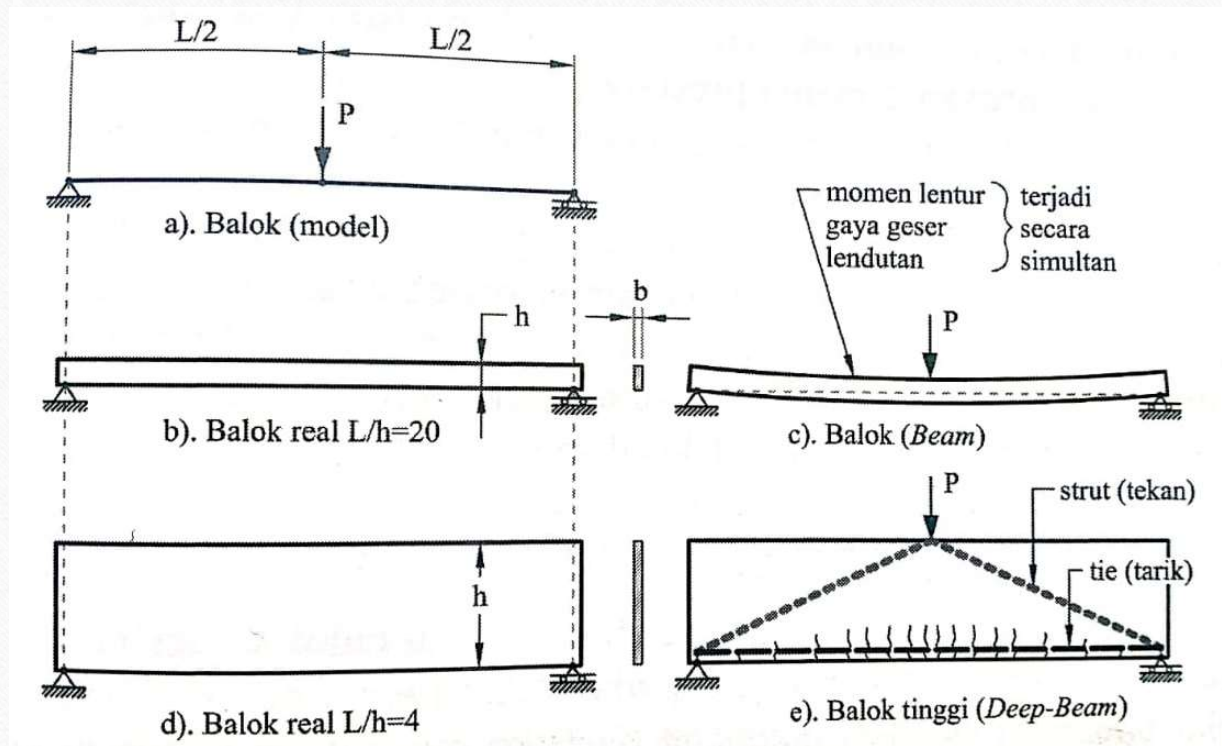
Pendahuluan

Pendahuluan

Istilah balok lentur umumnya merujuk pada struktur yang ditempatkan secara horizontal dan dibebani secara vertikal atau tegak lurus. Untuk analisa struktur dapat dibuat model dengan elemen garis dimana dianggap perilaku **lentur yang dominan**, umumnya terjadi pada balok dengan bentang yang cukup panjang. Selain mekanisme lentur, balok yang dibebani bisa ditemukan perilaku **non lentur**, ini umumnya terjadi pada balok tinggi atau balok dengan bentang yang tidak terlalu besar.

Ciri fisik balok yang **dominan lentur** adalah rasio panjang bentang terhadap tinggi penampang relatif besar, sedangkan ciri balok dengan mekanisme **non lentur** mempunyai rasio panjang bentang terhadap tinggi penampang yang kecil.

Pendahuluan



Gambar 5.1 Dimensi balok dan perilakunya

Pendahuluan

Akibat perbedaan rasio bentang terhadap tinggi (L/h), maka perilakunya dalam memikul beban menjadi berbeda. Bentuk Geometri balok biasa (**Gambar 5.1b**), beban dialihkan dengan mekanisme lentur (**Gambar 5.1c**), sedangkan pada balok tinggi (**Gambar 5.1d**), beban dialihkan menjadi diagonal gaya tekan (**strut**) disisi atas, dan gaya tarik (**tie**) disisi bawah tanpa terjadinya efek lentur.

Pendahuluan

Struktur baja menggunakan produk hasil industri, yang terbatas dalam menentukan dimensi profilnya. Ini memang kelemahannya dibanding struktur beton yang relatif bebas dalam menentukan dimensinya. Pada struktur beton, membuat balok biasa atau balok tinggi (deep beam) tidaklah ditemukan kesulitan yang berarti. Berbeda dengan struktur baja, dimensi penampang umumnya sudah ditentukan terlebih dahulu mengikuti standar yang ditetapkan, tujuannya agar produksinya efisien. Balok baja umumnya menggunakan profil hot-rolled, sedangkan balok tinggi menggunakan profil **built-up section**.

Jika menggunakan **profil-I built-up** yang berperilaku balok tinggi, maka aliran gaya tekan (strut) terjadi pada badan (web), artinya bagian pelat badan yang relatif tipis/langsing beresiko mengalami **tekuk**.

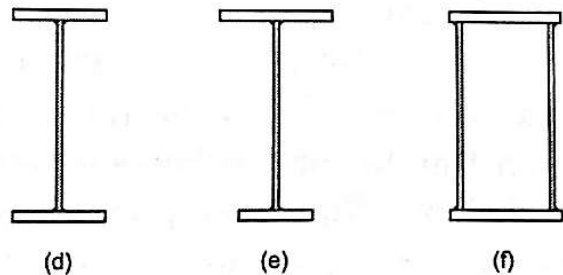
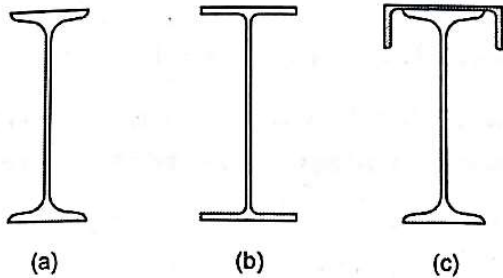
Pemilihan Bentuk Penampang

Pemilihan Bentuk Penampang

Mutu bahan yang tinggi menghasilkan dimensi struktur baja yang relatif langsing dibandingkan struktur beton. Oleh sebab itu pada perencanaan balok baja maka tidak hanya kondisi tegangan, tetapi juga perlu di evaluasi kondisi stabilitasnya juga. Masalah stabilitas adalah masalah permasalahan nonlinier geometri maka parameter penampang, pertambahan lateral dan kondisi tumpuan sangat menentukan, sehingga perlu di evaluasi sekaligus.

Bentuk geometri penampang atau profil baja adalah parameter geometri yang paling mudah diakses. Karena hal itu menentukan kinerjanya, maka langkah awal dalam perencanaan balok adalah memilih bentuk penampang sesuai terhadap kondisi beban dan pertambahan lateral yang ada.

Pemilihan Bentuk Penampang



Profil baja Gambar 6.6a menurut SNI 07-0329-2005 disebut baja profil I-beam proses canai panas (Bj.P I-beam), atau profil I saja. Profil bentuk ini di AISC (1993) dinamakan profil S. Ciri khasnya, permukaan sayap bagian dalam membentuk kemiringan tertentu, cocok dipakai sebagai balok pemikul mesin *hoist* (kerek) pada bangunan industri. Adapun profil pada Gambar 6.6b menurut SNI 07-7178-2006 disebut baja profil WF-beam proses canai panas (Bj.P WF-beam) atau profil WF saja (WF singkatan *Wide Flange*). Profil serupa di Amerika disebut profil W (AISC 1993), di Jepang profil H (JIS G3192), di negara-negara persemakmuran Inggris sebagai profil UB (Universal Beam). Pabrik lain bisa saja memberi nama lain, oleh sebab itu perlu dicermati ukuran dan beratnya.

Pemilihan Bentuk Penampang

Dari segi kekuatan terhadap momen lentur, pada berat yang sama, **profil WF** mempunyai **kinerja lebih baik** daripada **profil I** sehingga sanga populer untuk pekerjaan konstruksi. Profil I dan profil WF dibuat oleh pabrik baja melalui proses canai panas dengan digilas, istilah aslinya **hot-rolled**.

Agar kekuatan material menentukan, maka balok harus dipasang pertambahan lateral yang cukup. Meskipun demikian bentuk profil I mempunyai ketahanan rendah terhadap torsi, sehingga jika dipakai memikul beban langsung, akan beresiko tinggi. Maklum jika bebannya bergeser, tidak terletak tepat bidang simetri, akan timbul torsi selain momen lentur. Kondisi seperti itu tentu berbahaya. Untuk mengatasi hal tersebut maka balok dengan profil I harus terdiri dari minimall dua profil yang dipasang sejajar, diikat dengan rangka sedemikian sehingga dapat berfungsi sebagai pertambahan lateral sekaligus rangka kopel yang mengubah torsi menjadi gaya yang memikul lentur saja.

Pengaruh Kelangsingan Elemen

Tekuk Lokal dan Rasio Lebar-Tebal

Umum diketahui bahwa penampang balok baja terdiri dari profil terbuka dan elemennya relatif tipis. Kelangsingan dapat diukur dari **rasio lebar-tebal**. Jika terjadi tegangan tekan, elemen beresiko mengalami keruntuhan tekuk lokal (***local buckling***).

Sisi lainnya, analisa struktur untuk mencari gaya internal struktur, umumnya hanya memakai permodelan elemen garis sehingga kelangsingan elemen profil tidak terdeteksi. Tekuk lokal tentu tidak bisa diabaikan. Keberadaannya mengurangi kinerja struktur, bahkan memicu kerusakan yang lebih besar. Bagaimanapun juga telah disadari bahwa analisa struktur memprediksi tekuk lokal tersebut adalah tidak mudah (kompleks).

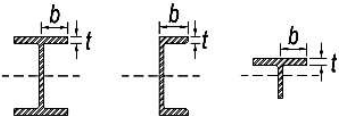
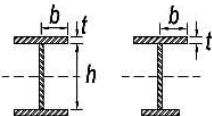
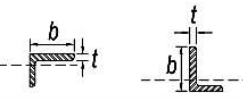
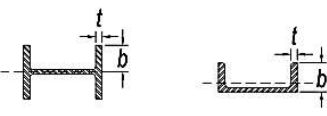

Rasio Lebar-Tebal dan Klasifikasi Penampang

Klasifikasi profil adalah tahapan awal proses perencanaan struktur baja. Cara tersebut dipakai untukantisipasi terhadap bahaya tekuk lokal (**local buckling**) dari elemen-elemen penyusun profil. Cara ini adalah langkah sederhana yang efektif, dimana rasio lebar terhadap tebal (**b/t**) menunjukkan kelangsingan elemen pelat sayap dan badan (**web**), yang kemudian akan dievaluasi berdasarkan kondisi kekangannya (**restraint**).

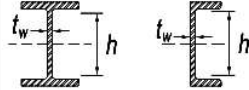
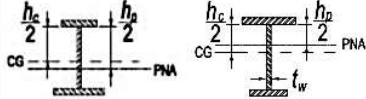
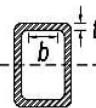
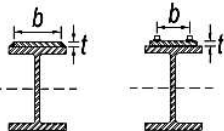
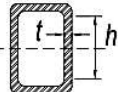
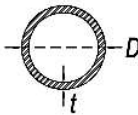
Elemen-elemen penyusun profil diklasifikasikan sebagai elemen **Kompak, Non-kompak** dan **Langsing**. Klasifikasi elemen pelat penyusun profil balok sangat penting karena menentukan langkah perhitungan dan formulasi yang dipakai.

Klasifikasi Penampang Elemen Tekan yang Memikul Lentur

TABLE B4.1b
Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements
Members Subject to Flexure

Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Examples	
			λ_p (compact/ noncompact)	λ_r (noncompact/ slender)		
Unstiffened Elements	10	Flanges of rolled I-shaped sections, channels, and tees	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ ^{[a] [b]}	
	12	Legs of single angles	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Flanges of all I-shaped sections and channels in flexure about the weak axis	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Stems of tees	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Klasifikasi Penampang Elemen Tekan yang Memikul Lentur

Stiffened Elements	15	Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Webs of singly-symmetric I-shaped sections	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_b} \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_r$ [c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Flanges of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Webs of rectangular HSS and boxes	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Round HSS	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	

[a] $k_c = 4/\sqrt{h/t}$ but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.
 [b] $F_t = 0.7F_y$ for major axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with $S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7$;
 $F_t = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0.5F_y$ for major-axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with $S_{xt}/S_{xc} < 0.7$.
 [c] M_p is the moment at yielding of the extreme fiber. $M_p =$ plastic bending moment, kip-in. (N-mm)
 $E =$ modulus of elasticity of steel = 29,000 ksi (200 000 MPa)
 $F_y =$ specified minimum yield stress, ksi (MPa)

Perilaku Penampang Kompak, Non-Kompak dan Langsing

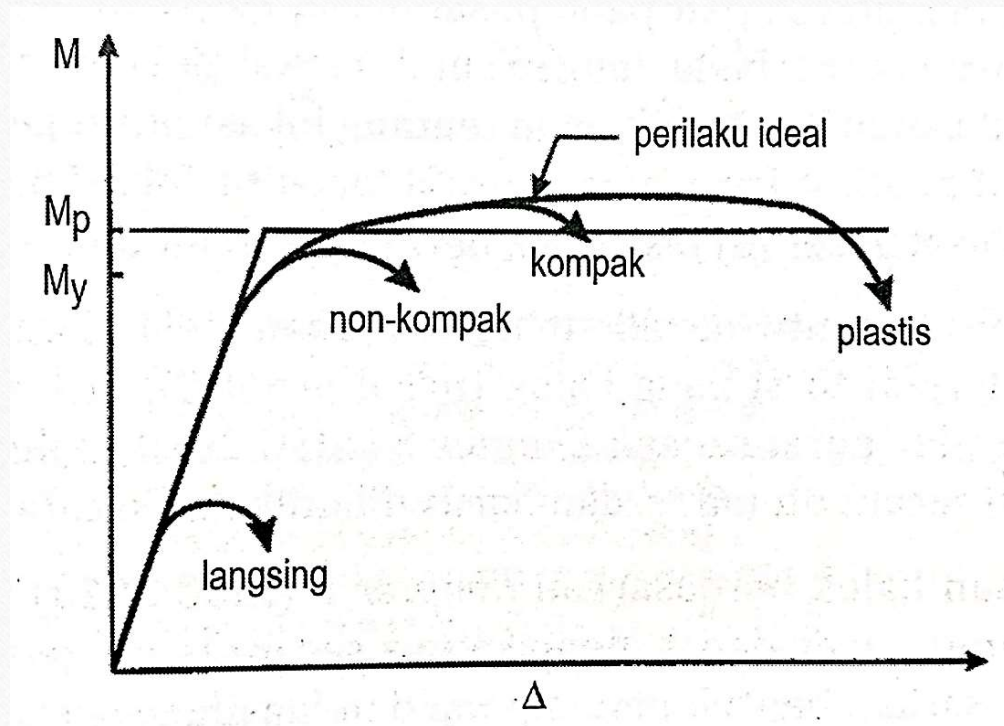
Profil kompak merupakan konfigurasi geometri penampang yang paling efisien dalam memanfaatkan material. Itu alasan mengapa hampir sebagian besar profil WF Hot-rolled buatan pabrik, termasuk pada kategori kompak. Karena kemampuan profil mencapai momen plastis, perilaku keruntuhannya bersifat duktail, sehingga menjadi syarat penting bangunan tahan gempa.

Penampang non-kompak mempunyai efisiensi satu tingkat lebih kecil dibanding penampang kompak dan ketika dibebani serat tepi terluarnya dapat mencapai tegangan leleh, meskipun demikian sebelum penampang plastis penuh terbentuk, profil akan mengalami tekuk lokal terlebih dahulu. Oleh karena itu kapasitas momen yang dapat diandalkan pada penampang ini adalah $M_y < M_p$.

Perilaku Penampang Kompak, Non-Kompak dan Langsing

Penampang Langsing adalah konfigurasi profil yang tidak efisien ditinjau dari segi pemakaian material. Apalagi jika yang dipakai adalah bahan baja bermutu tinggi. Jadi saat dibebani sebelum tegangan mencapai kondisi leleh telah terjadi tekuk lokal terlebih dahulu. Oleh karena keruntuhannya ditentukan oleh tekuk, yang sifatnya tidak duktail, maka penampang langsing tidak disarankan digunakan sebagai elemen struktur utama, apalagi untuk bangunan tahan gempa. Kapasitas momen balok adalah $M < M_y$.

Perilaku Penampang Kompak, Non-Kompak dan Langsing



Perilaku penampang berdasarkan klasifikasinya

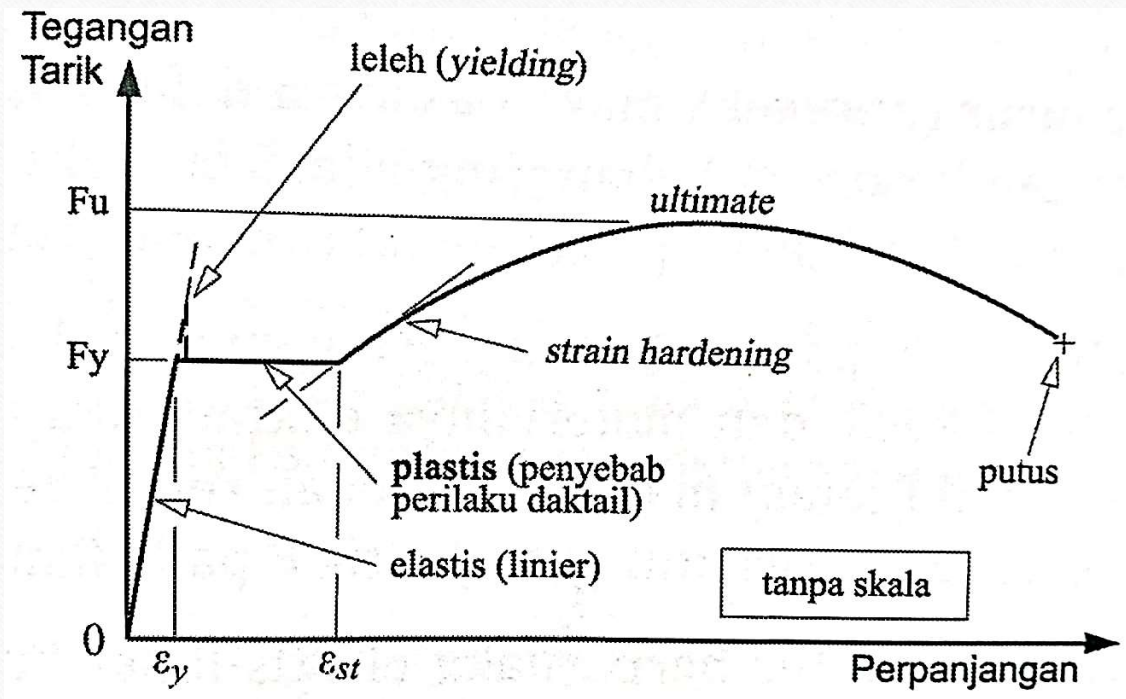
Perilaku dan Parameter Perencanaan Balok

Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur

Agar kondisi batas yang menentukan kekuatan balok lentur dapat dipahami dengan baik, maka langkah awal adalah mengetahui perilaku keruntuhan elemen struktur yang dibebani.

Elemen dengan tegangan tarik perilakunya relatif sederhana, sebagaimana terlihat pada kurva **tegangan-regangan** saat mencari sifat mekanik material. Kuat tariknya tergantung **tegangan leleh (F_y)**. Jika pada kondisi leleh dan beban tetap ditambahkan, material akan mengalami strain-hardening, terjadi peningkatan daya dukung tetapi disertai dengan fenomena **necking** (penampang mengecil), dan jika dipaksa terus akhirnya akan mencapai kuat maksimum atau **kuat ultimate (F_u)**. Setelah itu akan terjadi fraktur (retak) dan akhirnya akan putus secara tiba-tiba dan cepat (**brittle**).

Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur

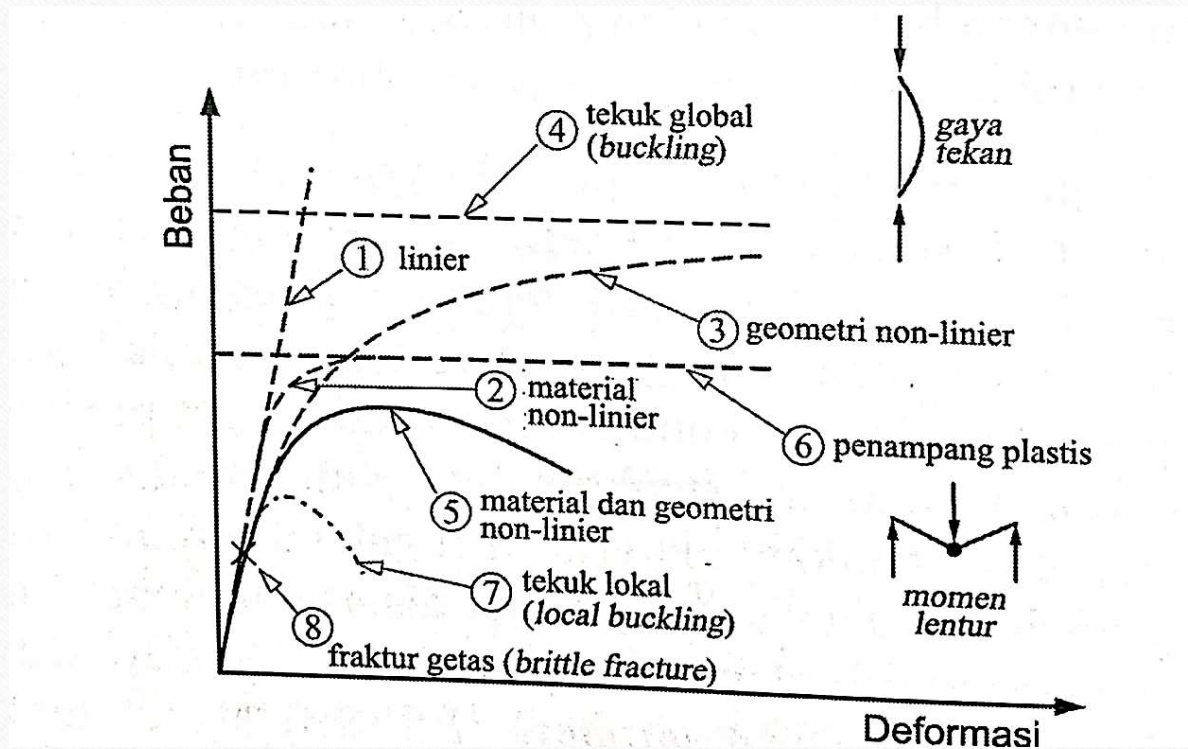


Perilaku keruntuhan batang tarik baja duktail

Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur

Elemen dengan tegangan tekan mempunyai perilaku keruntuhan lebih kompleks, meskipun kondisi batas material hanya memperhitungkan leleh. Maklum fraktur atau terjadi deformasi dengan pemisahan material, tidak terlihat pada kondisi tegangan tekan. Kecuali ditentukan oleh kuat material (leleh), kondisi geometri elemen (bentuk penampang dan pertambahan lateral) akan berpengaruh, dapat terjadi tekuk atau keruntuhan struktur tanpa mengalami leleh terlebih dahulu. Untuk mempelajari perilaku keruntuhan elemen struktur tekan bisa dilihat pada gambar berikut.

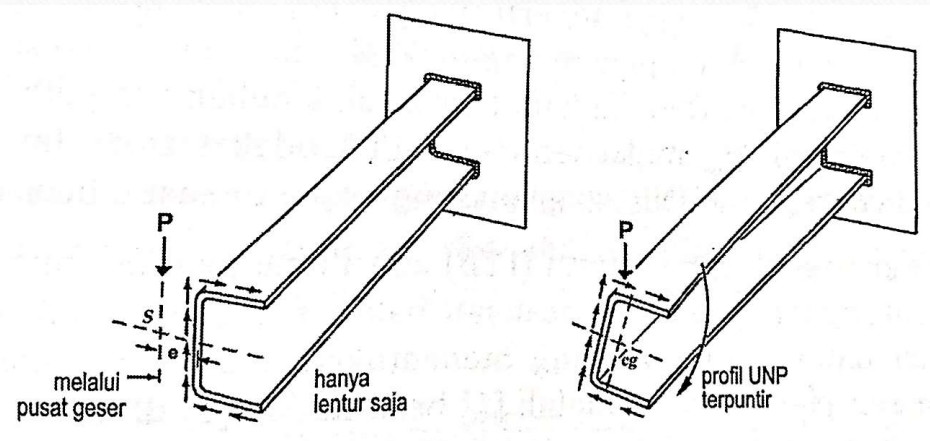
Perilaku Keruntuhan Elemen Struktur



Perilaku keruntuhan elemen struktur

Stabilitas Terhadap Tekuk Torsi Lateral

Telah dipahami, struktur kantilever dengan profil UNP (Channel) yang dibebani pada **pusat berat (cg)** mengalami puntir. Untuk menghindari, beban dipindah ke **pusat geser (S)** seperti gambar berikut.



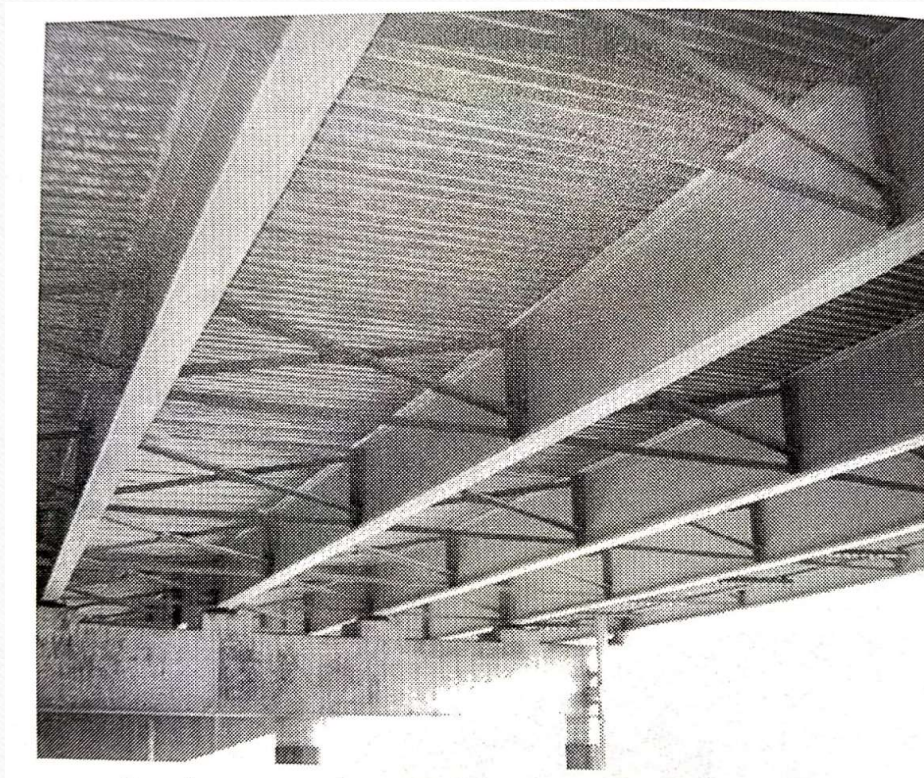
Perilaku struktur kantilever dengan profil UNP

Stabilitas Terhadap Tekuk Torsi Lateral

Profil I simetri ganda, pusat berat berhimpit dengan pusat geser, sehingga tidak seperti profil UNP, tidak mengalami puntir. Fakta menunjukkan ternyata kantilever profil I dapat mengalami rotasi (**puntir**) dan bertransalasi arah **lateral**. Kondisi ini disebut tekuk torsi lateral (***lateral torsional buckling***) atau disingkat **LTB**.

Fenomena tekuk torsi lateral (**LTB**) adalah hal penting yang perlu diperhitungkan pada perencanaan balok, merupakan salah satu kondisi geometri yang menentukan kuat lentur nominal. Parameter geometrinya adalah **[1] bentuk** dan **[2] dimensi profil**, serta **[3] jarak antara pertambatan lateral** atau ***lateral bracing (L_b)*** yang dipasang untuk mencegah terjadinya **LTB**.

Stabilitas Terhadap Tekuk Torsi Lateral



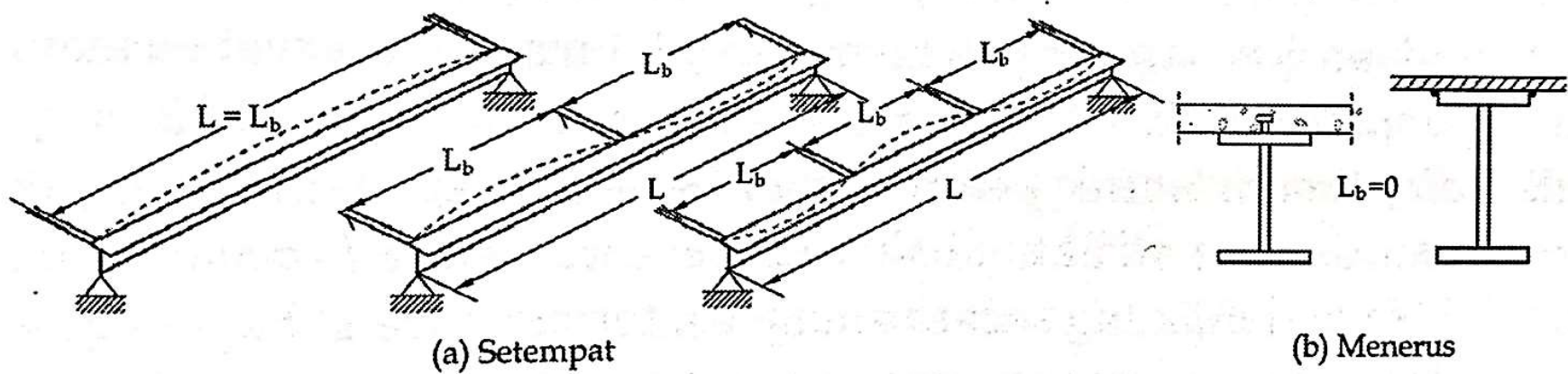
Contoh pertambahan lateral pada jembatan

Pertambahan Lateral Balok

Pertambahan lateral balok atau lateral bracing adalah kondisi geometri, bisa berupa elemen atau struktur khusus tambahan, bisa elemen lain yang terhubung dengan balok, yang berfungsi mencegah balok mengalami tekuk torsi lateral (LTB). Agar bekerja sebagai lateral bracing, struktur yang dimaksud dapat "**memegang**" komponen balok yang mengalami tekan, yang berpotensi mengalami LTB.

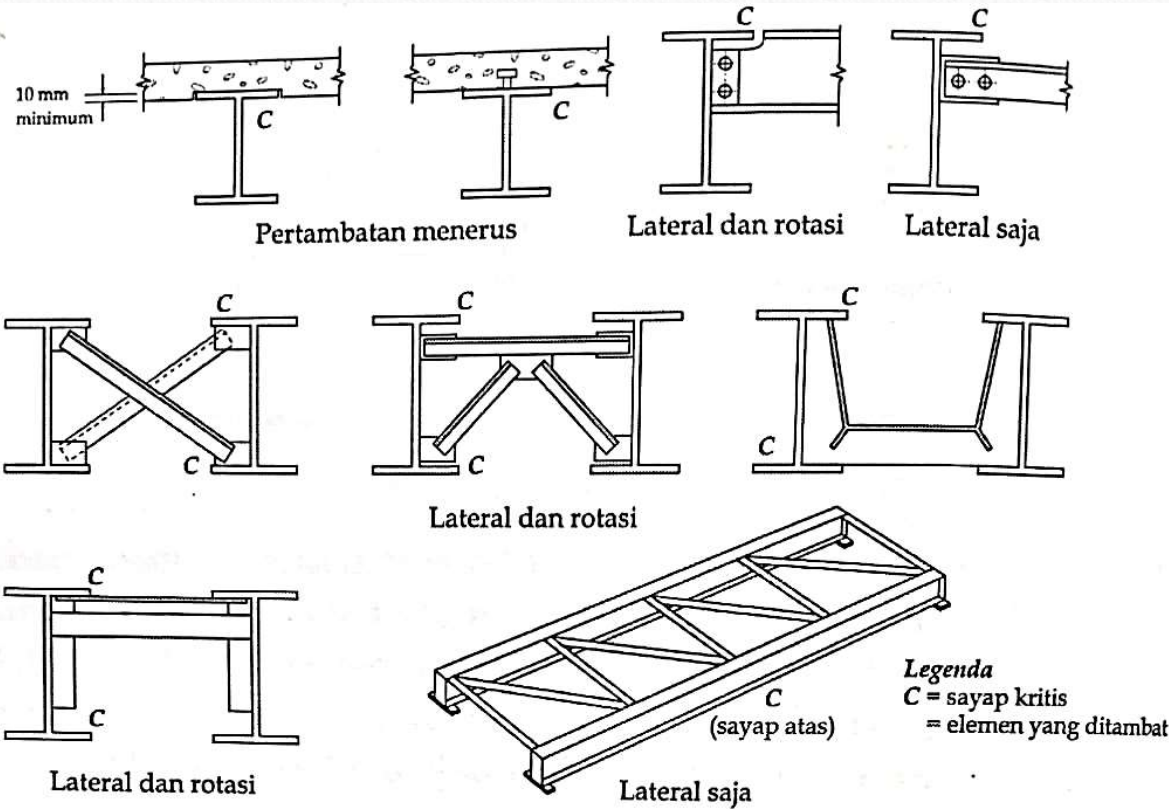
Sistem pertambahan lateral bisa **setempat** atau **menerus**. Untuk yang setempat, minimal harus dipasang pada titik-titik tumpuannya, adapun **L_b** adalah jarak antar pertambahan lateral setempat sedangkan **L** adalah bentang balok.

Pertambatan Lateral Balok



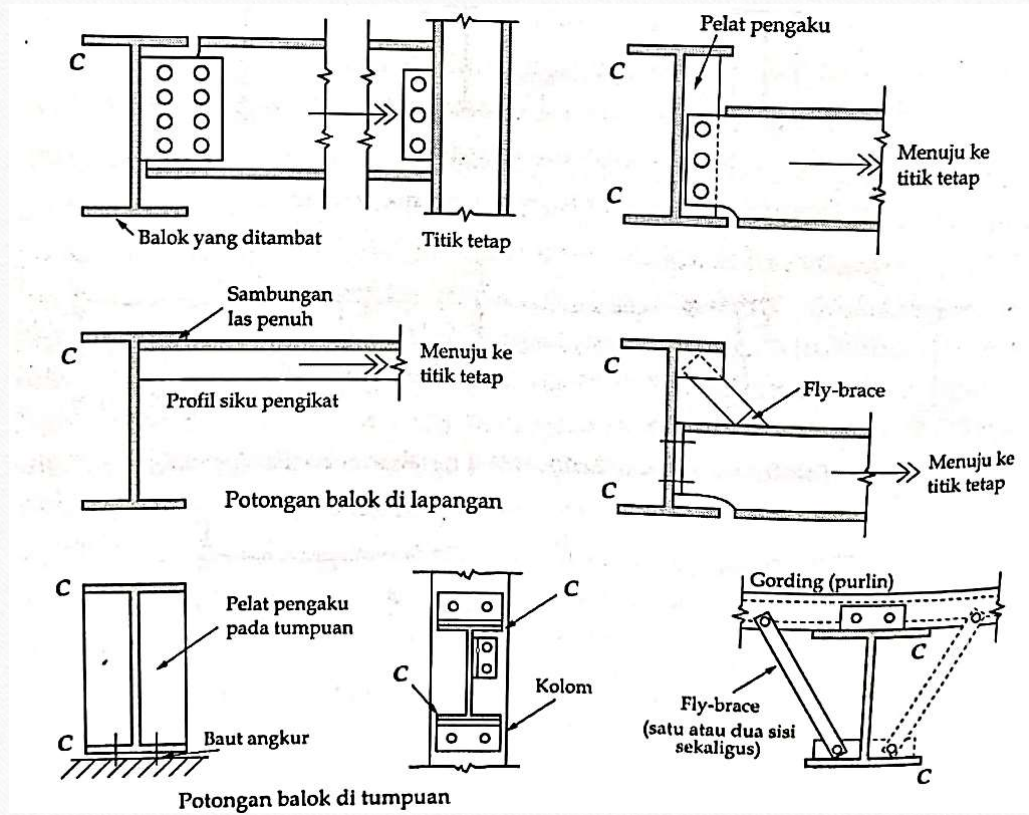
Kondisi pertambatan lateral pada balok

Pertambatan Lateral Balok



Contoh pertambatan lateral pada balok

Pertambatan Lateral Balok



Contoh pertambatan lateral pada balok

Balok Terkekang Lateral

Desain Balok Terkekang Lateral

Tahanan balok dalam desain LRFD harus memenuhi persyaratan:

$$\phi_b \cdot M_n > M_u$$

5.7

Dengan: $\phi_b = 0,90$

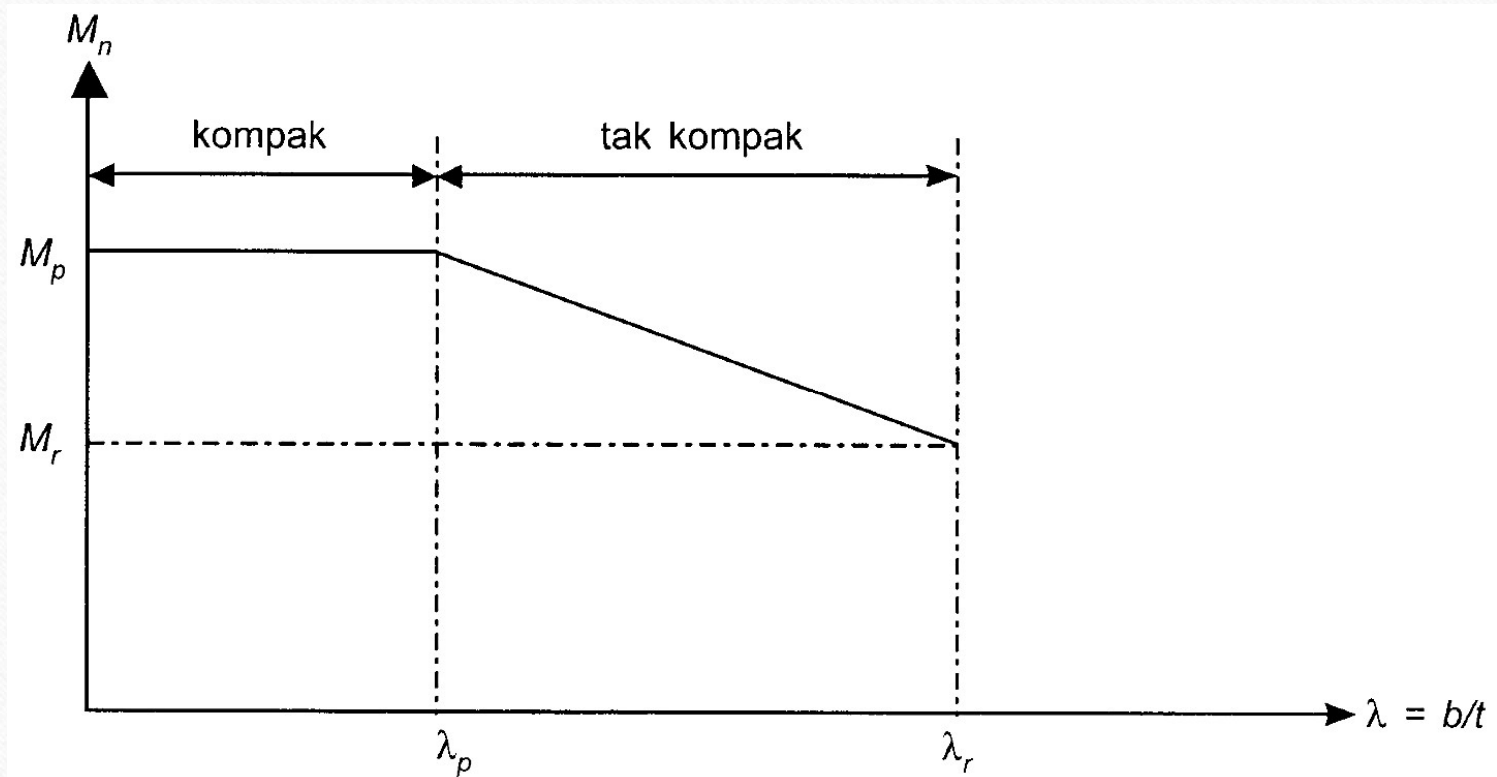
M_n = tahanan momen nominal

M_u = momen lentur akibat beban terfaktor

Dalam perhitungan tahanan momen nominal dibedakan antara penampang kompak, tak kompak, dan langsing seperti halnya saat membahas batang tekan. Batasan penampang kompak, tak kompak, dan langsing adalah:

1. Penampang kompak : $\lambda < \lambda_p$
2. Penampang tak kompak : $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Langsing : $\lambda > \lambda_r$

Desain Balok Terkekang Lateral



Tahanan Momen Nominal Penampang Kompak dan Tak Kompak

Desain Balok Terkekang Lateral

PENAMPANG KOMPAK

Tahanan momen nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak:

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \quad 5.8$$

Dengan: M_p = tahanan momen plastis
 Z = modulus plastis
 f_y = kuat leleh

PENAMPANG TAK KOMPAK

Tahanan momen nominal pada saat $\lambda = \lambda_r$ adalah:

$$M_n = M_r = (f_y - f_r) \cdot S \quad 5.9$$

Dengan: f_y = tahanan leleh
 f_r = tegangan sisa
 S = modulus penampang

Besarnya tegangan sisa $f_r = 70$ MPa untuk penampang gelas panas, dan 115 MPa untuk penampang yang dilas.

Desain Balok Terkekang Lateral

Bagi penampang tak kompak yang mempunyai $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$, maka besarnya tahanan momen nominal dicari dengan melakukan interpolasi linear, sehingga diperoleh:

$$M_n = \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} M_p + \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} M_r \quad 5.10$$

Dengan: λ = kelangsingan penampang balok ($= b/2t_f$)

λ_r, λ_p = tabel 7.5-1 Peraturan Baja

Untuk balok-balok hibrida di mana $f_{yf} > f_{yw}$ maka perhitungan M_r harus didasarkan pada nilai terkecil antara $(f_{yf} - f_r)$ dengan f_{yw} .

Lendutan balok

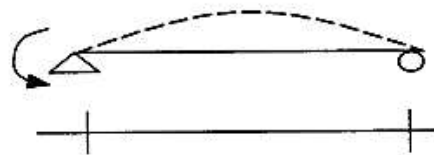
Lendutan Balok

Dalam perencanaan balok, SNI 1729-2002 membatasi besarnya lendutan yang timbul pada balok. Dalam pasal tersebut disyaratkan lendutan maksimum balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah sebesar $L/360$, sedangkan untuk balok biasa lendutan tidak boleh lebih dari $L/240$. pembatasan ini dimaksudkan agar balok memberikan kemampuan layanan yang baik (serviceability). Besar lendutan pada beberapa jenis pembebanan balok yang umum terjadi ditunjukkan sebagai berikut:

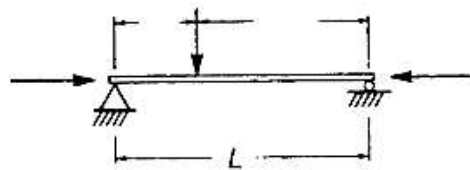
Lendutan Balok



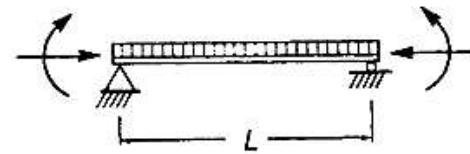
$$\Delta_{L/2} = -\frac{M_1 \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I}$$



$$\Delta_{L/2} = \frac{5 \cdot q_0 \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5}{48} \left(\frac{1}{8} q_0 \cdot L^2 \right) \frac{L^2}{EI} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_0 \cdot L^2}{E \cdot I}$$



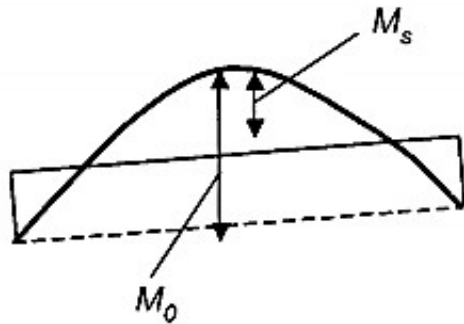
$$\Delta_{L/2} = \frac{P \cdot b (3L^2 - 4b^2)}{48 \cdot E \cdot I}$$



$$\Delta_{L/2} = \frac{5}{48} \frac{M_0 \cdot L^2}{EI} - \frac{M_1 \cdot L^2}{16EI} - \frac{M_2 \cdot L^2}{16EI}$$

$$\Delta_{L/2} = \frac{L^2}{48 \cdot EI} (5M_0 - 3M_1 - 3M_2)$$

Lendutan Balok



Karena $M_0 = M_s + 0,5(M_1 + M_2)$, maka

$$\Delta_{L/2} = \frac{5 \cdot L^2}{48 \cdot EI} (M_s - 0,1 \cdot M_1 - 0,1 \cdot M_2)$$

Dalam beberapa kasus tertentu, terkadang masalah batasan lendutan lebih menentukan dalam pemilihan profil balok daripada tahanan momennya.

Lendutan Balok

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, lendutan balok maksimum dibatasi sesuai tabel sebagai berikut:

Tabel 6.4-1 Batas lendutan maksimum¹.

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

Note : L = Panjang bentang

h = tinggi lantai

Beban tetap = Beban Mati + Beban Hidup

Beban sementara = Beban Permanen + Beban Dinamik

Kuat Geser Nominal

Kuat Geser Nominal

Dalam contoh 5.5 tampak bahwa gaya geser sebagian besar dipikul oleh web jika web dalam kondisi stabil (artinya ketidakstabilan akibat kombinasi geser dan lentur tak terjadi). Kuat geser nominal pelat web ditentukan oleh SNI 03-1729-2002 pasal 8.8.3, yaitu:

$$V_n = \tau_y \cdot A_w \approx 0,60 \cdot f_{yw} \cdot A_w \quad 5.20$$

Dengan: f_{yw} = kuat leleh web
 A_w = luas penampang web

Persamaan 5.20 dapat digunakan bila dipenuhi syarat kelangsingan untuk tebal pelat web sebagai berikut:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_{yw}}} \quad 5.21$$

Dan kuat geser rencana harus memenuhi persamaan:

$$\phi_v \cdot V_n \geq V_u$$

Desain Balok LRFD

Desain Balok LRFD

Setiap komponen struktur yang memikul momen lentur, harus memenuhi persyaratan:

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u \quad 9.46$$

dengan: ϕ_b adalah faktor reduksi untuk lentur = 0,90
 M_n adalah kuat nominal momen lentur dari penampang
 M_u adalah beban momen lentur terfaktor

Desain Balok LRFD

Besarnya kuat nominal momen lentur dari penampang ditentukan sebagai berikut:

Kasus 1: $M_n = M_p$ ($R \geq 3$)

Agar penampang dapat mencapai kuat nominal $M_n = M_p$, maka penampang harus kompak untuk mencegah terjadinya tekuk lokal. Syarat penampang kompak ditentukan sesuai dengan Tabel 7.5-1 SNI 03-1729-2002, yaitu λ untuk flens ($b/2t_f$) dan untuk web (h/t_w) tidak boleh melebihi λ_p . Batasan nilai untuk λ_p ditampilkan pada Tabel 9.1. Selain harus kompak, pengaku lateral harus diberikan sehingga panjang bentang tak terkekang, L , tidak melebihi L_{pd} yang diperoleh dari Persamaan 9.44.

$$L_{pd} = \frac{25.000 + 15.000 \left(\frac{M_1}{M_p} \right)}{f_y} \times r_y \quad 9.47$$

Desain Balok LRFD

Kasus 2: $M_n = M_p$ ($R < 3$)

Agar penampang dapat mencapai momen plastis M_p dengan kapasitas rotasi $R < 3$, maka penampang harus kompak dan tidak terjadi tekuk lokal ($b/2t_f$ dan $h/t_w < \lambda_p$). Pengaku lateral harus diberikan sehingga panjang bentang tak terkekang L tidak melebihi L_p yang ditentukan oleh Persamaan 9.43 (untuk $C_b = 1$).

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{untuk } E = 200.000 \text{ MPa})$$

9.48

Desain Balok LRFD

Kasus 3: $M_p > M_n \geq M_r$

Dalam kasus 3 terjadi tekuk torsi lateral untuk penampang kompak ($\lambda \leq \lambda_p$). Kuat momen nominal didekati dengan hubungan linear antara titik 1 (L_p, M_p) dengan titik 2 (L_r, M_r) pada Gambar 9.5. Kuat momen lentur nominal dalam kasus 3 ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 (Pasal 8.3.4).

$$M_n = C_b \cdot \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad 9.49$$

M_r adalah kuat nominal yang tersedia untuk beban layan ketika serat terluar penampang mencapai tegangan f_y (termasuk tegangan residu) dan dapat diekspresikan sebagai:

$$M_r = S_x(f_y - f_r) \quad 9.50$$

Desain Balok LRFD

dengan: f_y adalah tegangan leleh profil
 f_r adalah tegangan residu (70 MPa untuk penampang dirol dan 115 MPa untuk penampang dilas)
 S_x adalah modulus penampang

Panjang L_r diperoleh dari Persamaan 9.45:

$$L_r = \frac{X_1 \cdot r_y}{f_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}} \quad 9.51$$

$$\text{dengan: } f_L = f_y - f_r \quad 9.52.a$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad 9.52.b$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{C_w}{I_y} \quad 9.52.c$$

Desain Balok LRFD

TABEL 9.1 Batasan Rasio Kelangsingan λ_p untuk Penampang Kompak Balok I

(Modulus Elastisitas, $E = 200.000$ MPa)

Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tekuk Lokal Flens $\frac{b}{2t_f} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Torsi Lateral $\frac{L}{r_y} = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$
210	11,73	115,93	54,52
240	10,97	108,44	50,99
250	10,75	106,25	46,96
290	9,98	98,65	46,39
410	8,4	82,97	39,02

Desain Balok LRFD

TABEL 9.1 Batasan Rasio Kelangsingan λ_p untuk Penampang Kompak Balok I

(Modulus Elastisitas, $E = 200.000$ MPa)

Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tekuk Lokal Flens $\frac{b}{2t_f} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Torsi Lateral $\frac{L}{r_y} = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$
210	11,73	115,93	54,52
240	10,97	108,44	50,99
250	10,75	106,25	46,96
290	9,98	98,65	46,39
410	8,4	82,97	39,02

Desain Balok LRFD

Kasus 4: $M_p > M_n \geq M_r$

Kasus ini terjadi jika:

1. $L_p < L < L_r$
2. $\lambda_p < (\lambda = b/2 \cdot t_f) < \lambda_r$ (flens tidak kompak)
3. $\lambda_p < (\lambda = h/t_w) < \lambda_r$ (web tidak kompak)

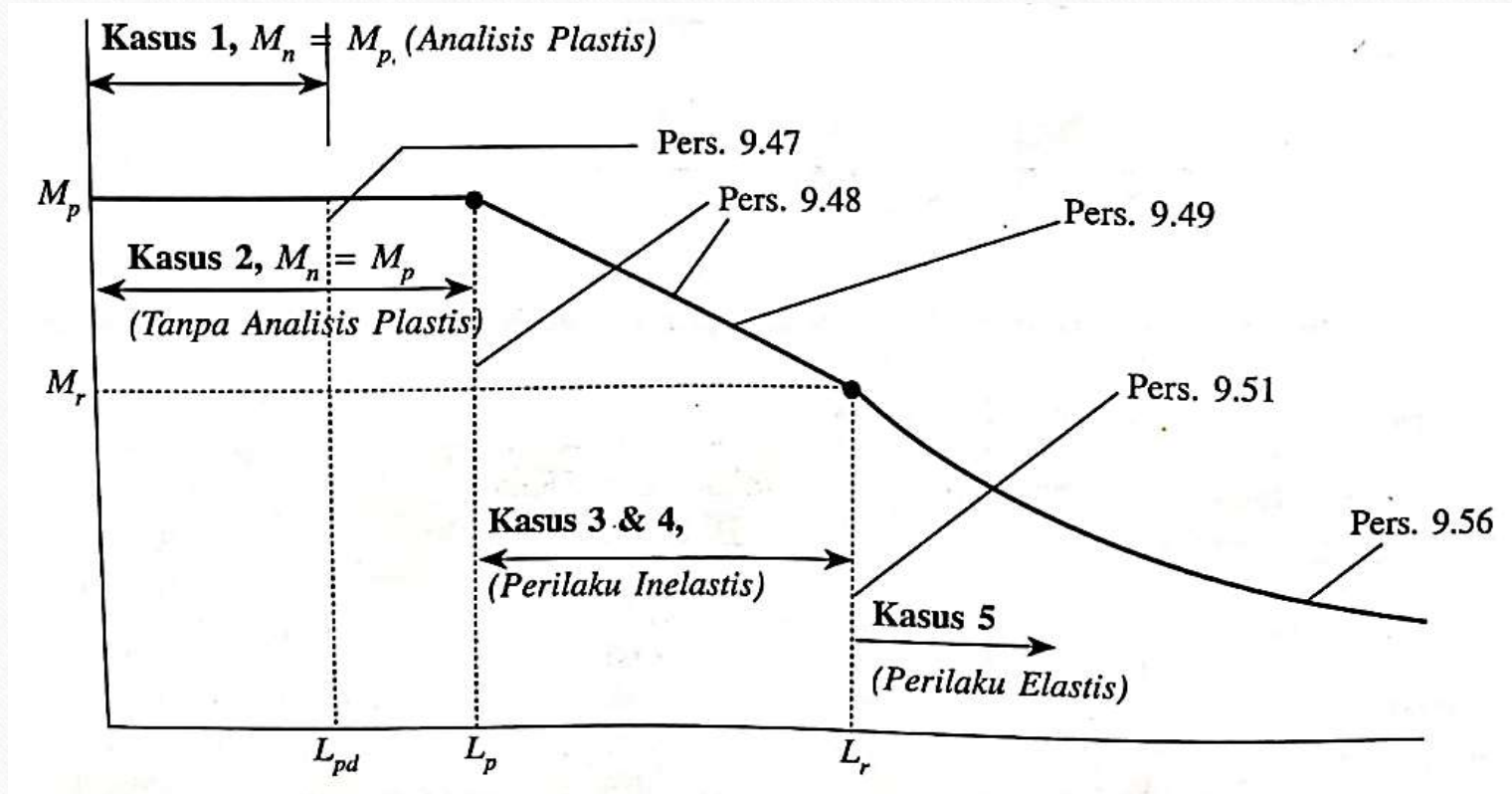
Kuat momen lentur nominal dalam kasus 4 harus dihitung berdasarkan keadaan yang paling kritis dari tekuk lokal flens, tekuk lokal web serta tekuk torsi lateral. Untuk membatasi tekuk lokal flens serta tekuk lokal web, SNI 03-1729-2002 (Pasal 8.2.4) merumuskan:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad 9.53$$

Sedangkan kondisi batas untuk tekuk torsi lateral ditentukan berdasarkan:

$$M_n = C_b \cdot \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad 9.54$$

Desain Balok LRFD



Kuat Momen Nominal Akibat Tekuk Torsi Lateral

Desain Balok LRFD

Dengan faktor pengali momen, C_b , ditentukan oleh persamaan:

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{\text{maks}}}{2,5M_{\text{maks}} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3 \quad 9.55$$

dengan: M_{maks} adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau
 M_A adalah momen pada $1/4$ bentang tak terkekang
 M_B adalah momen pada tengah bentang tak terkekang
 M_C adalah momen pada $3/4$ bentang tak terkekang

Kuat momen lentur nominal dalam kasus 4 ini diambil dari nilai yang terkecil antara Persamaan 9.53 dan 9.54. Batasan rasio kelangsingan penampang, λ_r , untuk penampang tidak kompak ditampilkan dalam Tabel 9.2.

Desain Balok LRFD

Kasus 5: $M_n < M_r$

Kasus 5 terjadi bila $L > L_r$ dan kelangsingan dari flens serta web tak melebihi λ_r (penampang kompak). Kuat nominal momen lentur dalam kondisi ini ditentukan sebagai berikut:

$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y \cdot C_w} \quad 9.56$$

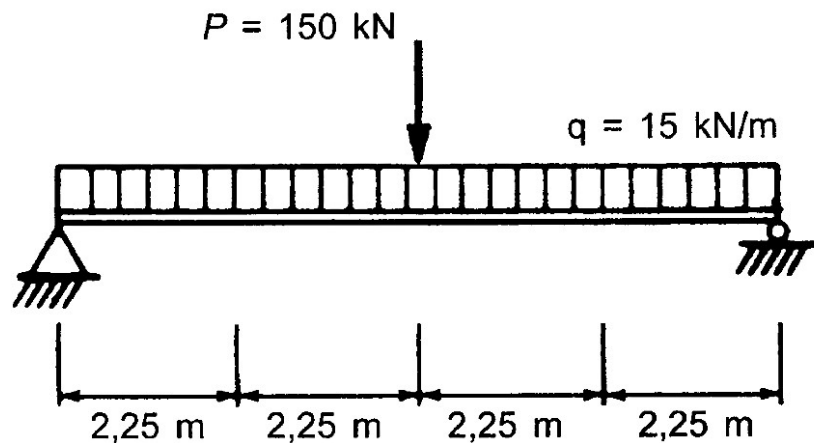
Persamaan 9.56 dapat pula dituliskan dengan menggunakan variabel X_1 dan X_2 seperti dalam Persamaan 9.52.b dan c, sehingga menjadi:

$$M_n = M_{cr} = \frac{C_b \cdot S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{\frac{L}{r_y}} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2 \left(\frac{L}{r_y}\right)^2}} \quad 9.57$$

Contoh Soal

Contoh Soal 1

Sebuah balok tertumpu sederhana dengan beban seperti dalam gambar di bawah ini.



Beban merata terdiri dari 15% D dan 85% L , beban terpusat terdiri dari 40% D serta 60% L . Balok tersebut diberi sokongan lateral pada ujung-ujungnya serta setiap jarak $2,25 \text{ m}$. Mutu baja adalah BJ 37.

Penyelesaian

JAWAB:

$$q_u = 1,2(0,15)(15) + 1,6(0,85)(15) = 2,7 + 20,4 = 23,1 \text{ kN/m}$$

$$P_u = 1,2(0,4)(150) + 1,6(0,6)(150) = 72 + 144 = 216 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{1}{8}(23,1)(9)^2 + \frac{1}{4}(216)(9) = 233,8875 + 486 = 719,8875 \text{ kN.m}$$

$$M_{n \text{ perlu}} = M_u / \phi_b = 719,8875 / 0,9 = 799,875 \text{ kN.m}$$

Penyelesaian

Estimasikan apakah sokongan lateral cukup dekat untuk mendesain balok agar dapat mencapai momen plastis, M_p (tanpa analisa plastis). Asumsikan penampang kompak untuk mencegah tekuk lokal, dan balok berada dalam kasus 2 ($M_n = M_p$).

Panjang maksimal bentang tak terkekang adalah:

$$L_p = \frac{790 \cdot r_y}{\sqrt{f_y}} = \frac{790 \cdot r_y}{\sqrt{240}} = 50,99 \cdot r_y$$

$$M_n \text{ perlu} = M_p \text{ perlu} = 799,875 \text{ kN.m}$$

$$Z_x \text{ perlu} = \frac{M_{p \text{ perlu}}}{f_y} = \frac{799,875 \cdot 10^6}{240} = 332.812,5 \text{ mm}^3$$

Penyelesaian

Penampang terkecil yang memiliki $Z_x \geq 3.332.812,5 \text{ mm}^3$ adalah 400.400.13.21 ($Z_x = 3600,13 \text{ cm}^3$).

Periksa kuat momen lentur nominal dari penampang, dengan menyertakan berat sendiri balok:

$$M_u \text{ (berat sendiri)} = 1,2 \cdot \frac{1}{8} (1,72)(9)^2 = 20,898 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 719,8875 + 20,898 = 740,7855 \text{ kN.m}$$

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y = 3600,13 \cdot 10^3 (240) = 864,0312 \text{ kN.m}$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \times 864,0312 = 777,628 \text{ kN.m} > M_u (= 740,7855 \text{ kNm})$$

Penyelesaian

Cek kelangsingan penampang:

$$\frac{b}{2.t_f} = \frac{400}{2 \times 21} = 9,52 < \frac{170}{\sqrt{f_y}} (= 10,97)$$

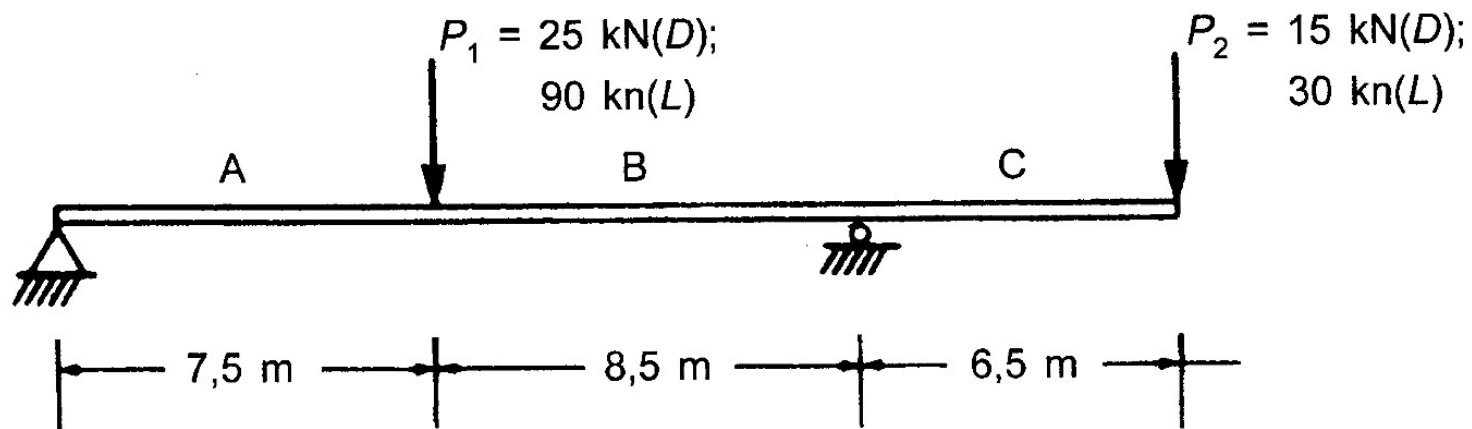
$$\frac{b}{t_w} = \frac{400 - 2(21)}{13} = 27,53 < \frac{1680}{\sqrt{f_y}} (= 108,44)$$

$$L_p = 50,99.r_y = 50,99(101) = 5149,99 \text{ mm} = 5,14999 \text{ m}$$

$$L_p > L (= 2,25 \text{ m}) \quad \rightarrow \text{sesuai asumsi awal, termasuk kasus 2.}$$

Contoh Soal 2

Pilihlah penampang WF yang ekonomis bagi balok pada struktur di bawah ini. Sokongan lateral dipasang pada kedua tumpuan serta pada kedua lokasi beban terpusat. (mutu baja BJ 37)

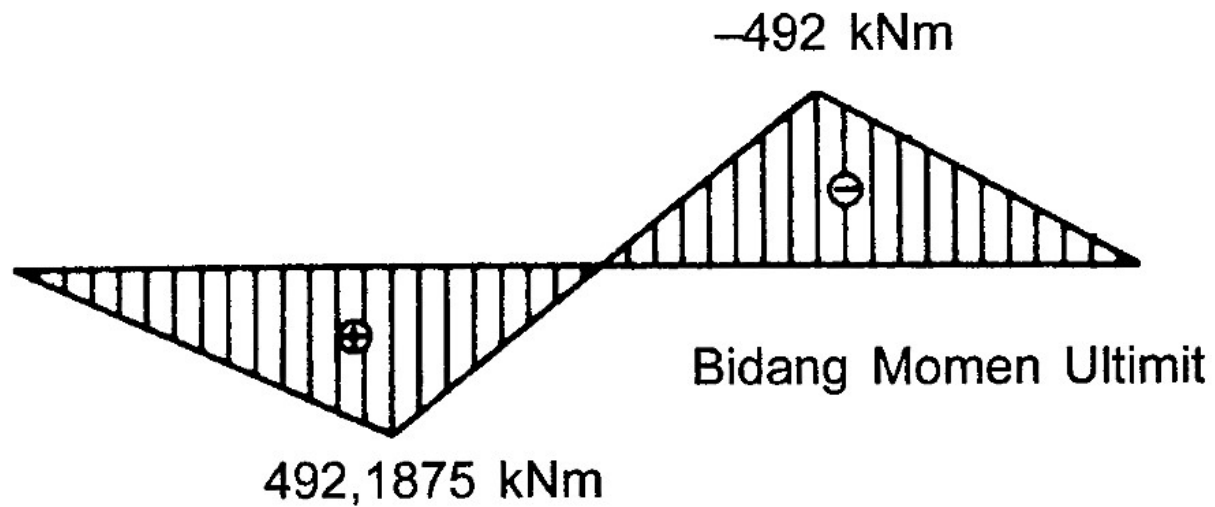


Penyelesaian

JAWAB:

$$P_{u1} = 1,2(25) + 1,6(90) = 174 \text{ kN}$$

$$P_{u2} = 1,2(15) + 1,6(30) = 66 \text{ kN}$$



Penyelesaian

Dicoba menggunakan profil WF 600.200.11.17.

Cek kelangsingan penampang:

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{200}{2 \times 17} = 5,88 < 10,97$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{600}{11} = 54,54 < 108,44$$

} Penampang Kompak

Penyelesaian

Segmen A dan C:

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{492,1875}{0,9} = 546,875 \text{ kN.m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y = \frac{790}{\sqrt{240}} \times 41,2 = 2100,96 \text{ mm}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} = \frac{\pi}{2590 \cdot 10^3} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 \times 8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4 \times 134,4 \cdot 10^2}{2}}$$
$$= 11977,92346 \text{ MPa}$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)^2 \frac{C_w}{I_y} = 4 \left(\frac{2590 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4} \right)^2 \frac{1926037,67 \cdot 10^6}{2280 \cdot 10^4}$$
$$= 4,31282 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^4/\text{N}^2$$

Penyelesaian

$$\begin{aligned}L_r &= r_y \cdot \left(\frac{X_1}{f_y - f_r} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (f_y - f_r)^2}} \\&= 41,2 \cdot \left(\frac{11977,92346}{240 - 70} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + 4,31282 \cdot 10^{-4} (240 - 70)^2}} \\&= 6272,73 \text{ mm} = 6,273 \text{ m}\end{aligned}$$

Karena $L (= 7,5 \text{ m}) > L_r (= 6,273 \text{ m})$ dan penampang kompak, maka soal ini termasuk kasus 5.

Penyelesaian

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 2863,18 \cdot 10^3 (240) = 687,16 \text{ kN.m}$$

$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E}{L} \right)^2 \cdot I_y \cdot C_w}$$

Karena $M_1/M_2 = 0$, maka $C_b = 1,67$

$$M_n = 1,67 \frac{\pi}{7500} \sqrt{2 \cdot 10^5 \times 2,28 \cdot 10^7 \times 8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4 + \left(\frac{\pi \cdot 2 \cdot 10^5}{7500} \right)^2 \cdot 2,28 \cdot 10^7 \times 1926037,67 \cdot 10^6}$$

$$M_n = 559,4244 \text{ kN.m} < M_p$$

OK

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9(559,4244) = 503,482 \text{ kNm} > M_u (= 492,1875 \text{ kN.m})$$

Penyelesaian

Segmen B:

$$L (= 8,5 \text{ m}) > L_r (= 6,273 \text{ m}) \rightarrow \text{kasus 5}$$

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$M_{\max} = 492,1875 \text{ kNm}$$

$$M_A = 261,890625 \text{ kNm}$$

$$M_B = 31,59375 \text{ kNm}$$

$$M_C = 198,703125 \text{ kNm}$$

Penyelesaian

$$C_b = \frac{12,5 \times 492,1875}{(2,5 \times 492,1875) + (3 \times 261,890625) + (4 \times 31,59375) + (3 \times 198,703125)}$$
$$= 2,24$$

$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E}{L} \right)^2 \cdot I_y \cdot C_w}$$

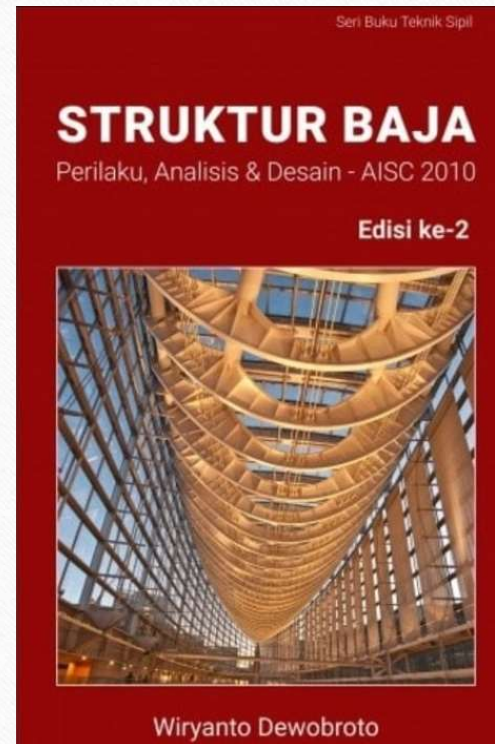
$$M_n = 2,24 \cdot \frac{\pi}{8500} \sqrt{2 \cdot 10^5 \times 2,28 \cdot 10^7 \times 8 \cdot 10^4 \times 90,62 \cdot 10^4 + \left(\frac{\pi \times 2 \cdot 10^5}{8500} \right)^2 \cdot 2,28 \cdot 10^7 \times 1926037,67 \cdot 10^6}$$

$$M_n = 625,702 \text{ kN}\cdot\text{m} < M_p$$

OK

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9(625,702) = 563,1315 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_u (= 492,1875 \text{ kN}\cdot\text{m})$$

Referensi



Terima Kasih

Struktur Baja 2

Kuliah 5 – Balok Girder

Ir. Totok Andi Prasetyo, ST., MT



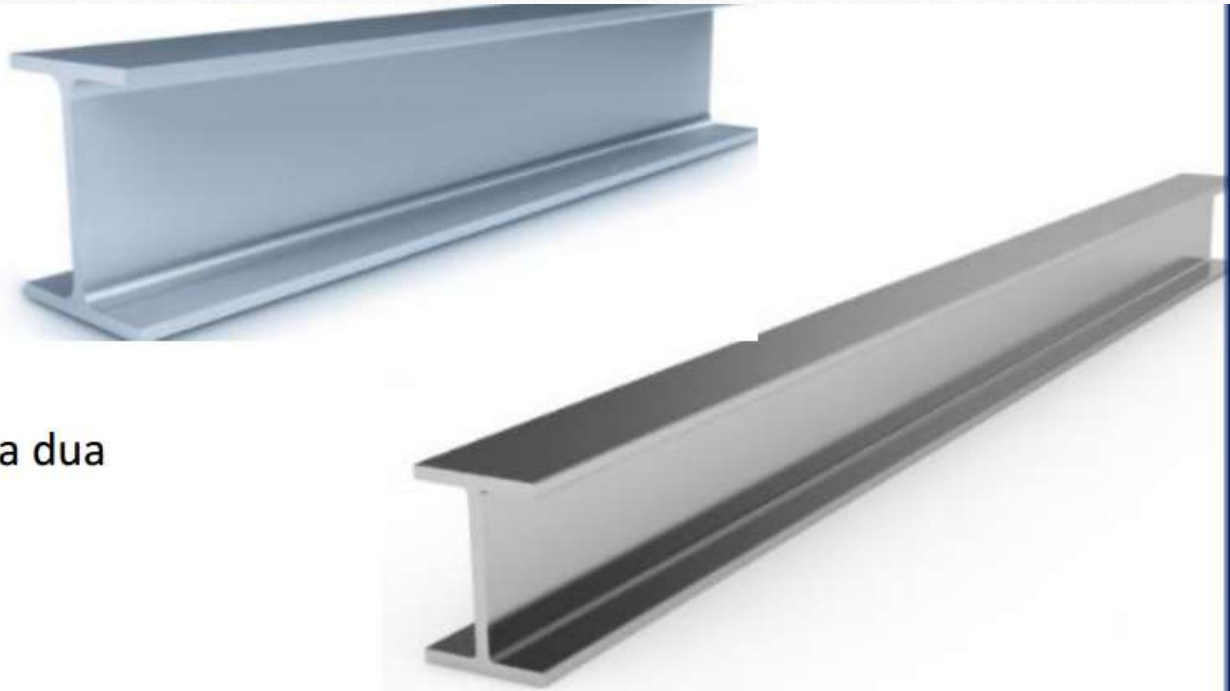
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Balok Girder

BALOK

Kapasitas Lentur Balok
dipengaruhi oleh :

- Sifat Bahan
- Sifat Penampang
- Panjang Bentang antara dua dukungan lateral
- Gradien Momen



Sifat Bahan Yang mempunyai pengaruh Dominan :

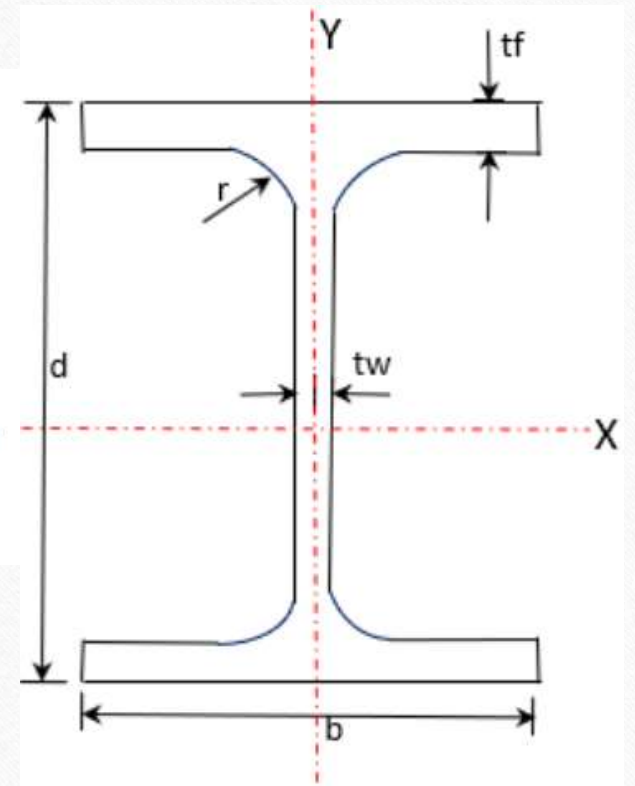
- Modulus Elastisitas, E
- Tegangan Leleh , f_y
- Tegangan Residu, $f_r = 70 \text{ Mpa}$
atau $f_r = 0,3f_y$



Sifat Penampang :

- Momen Inertia, I
- Potongan-potongan (penampang)
- Jari-jari Inertia Minimum, i_x, i_y, r_x, r_y
- Ratio kelangsingan element pelat, $\lambda = b/2t_f$ (flange),

$$\lambda = h/t_w \text{ (Web)}$$



Kegagalan Balok dapat terjadi karena :

- Kekuatan bahan terlampaui
- Karena Tekuk(buckling)

Tekuk pada Balok dapat Berupa :

1. Tekuk Lokal (Lokal Buckling)---→ Ratio kelangsingan elemen pelat
2. Tekuk Puntir Lateral (Lateral Torsional Buckling), dipengaruhi Panjang bentang dua Dukungan Lateral (L_b) dan Gradien Momen.

TEKUK dan STABILITAS BALOK LENTUR :

Balok melentur akan mengakibatkan serat tertentu pada penampang mengalami TARIK dan mengalami TEKAN. Balok Baja yang berupa pelat penampang pelat tipis, gaya tekan pada serat penampang akan menyebabkan terjadinya TEKUK (LOCAL BUCKLING), baik pada pelat badan maupun pelat sayap.

Tegangan Akibat Momen Lentur

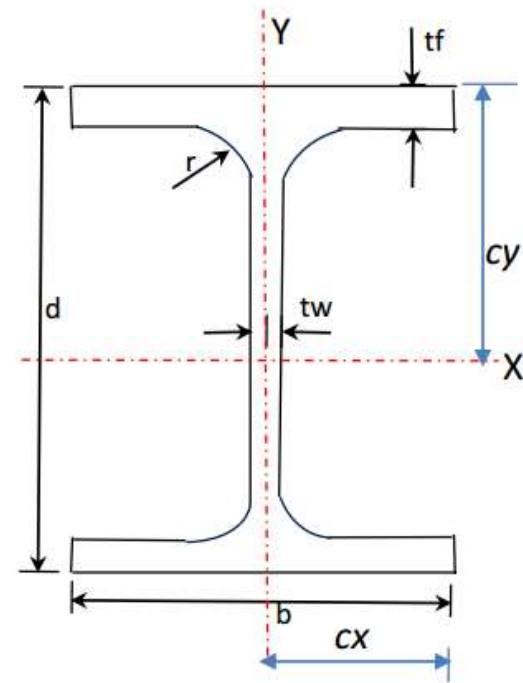
$$\sigma = f = \frac{M.c}{I}$$

$$f = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y}$$

$$f = \frac{M_x.c_y}{I_x} + \frac{M_y.c_x}{I_y}$$

$$S_x = \frac{I_x}{c_y}$$

$$S_y = \frac{I_y}{c_x}$$



Balok Girder

f = tahanan lentur

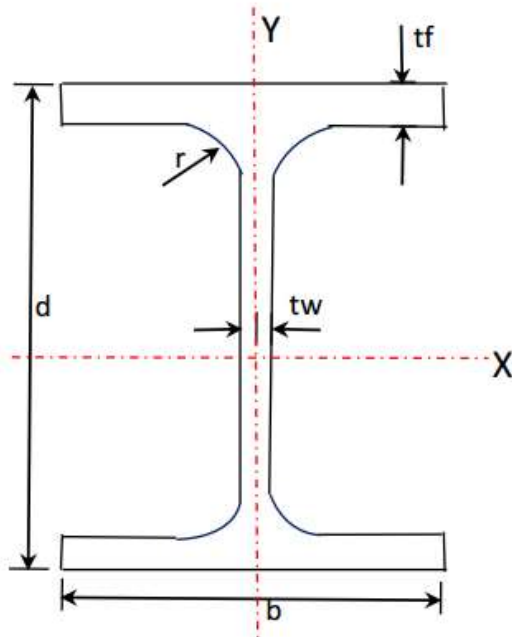
M_x, M_y = Momen lentur arah x dan arah y

I_x, I_y = Momen nertia arah x dan arah y

S_x, S_y = Modulus penampang arah x dan arah y

c_x, c_y = Jarak titik berat ke tepi serat arah x dan arah y

Nilai Properties Profil WF , I_x, I_y (Momen Inertia), S_x, S_y (Modulus Penampang Elastis, dan Z_x, Z_y (Mudulus Penampang Plastis, J (Konstanta Torsi, r_{ts} (Radius Girasi efektif)



Momen Inersia

$$I_x = \frac{1}{6} \cdot t_b \cdot t_f^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_f \cdot (d - t_f)^3$$

$$I_y = \frac{1}{6} \cdot t_f \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot (d - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3$$

Modulus Penampang Elastis

$$S_x = \frac{I_x}{c_y} \quad , \quad c_y = d / 2$$

$$S_y = \frac{I_y}{c_x} \quad , \quad c_x = b / 2$$

Modulus Penampang Plastis

$$Z_x = b \cdot t_f (d - 2t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - 2t_f)^2$$

$$Z_y = \frac{1}{2} t_f \cdot b^2 + \frac{1}{4} (d - 2t_f) \cdot t_w^2$$

$$J = \sum \frac{1}{3} \cdot b \cdot t^3 \quad J = \text{Momen Inertia Polar/Konstanta Puntir (Torsi)}$$

$$I_w \approx I_y \cdot \frac{(hf - f)^2}{4} \quad C_w, I_w = \text{Konstanta Warping/Pilin}$$

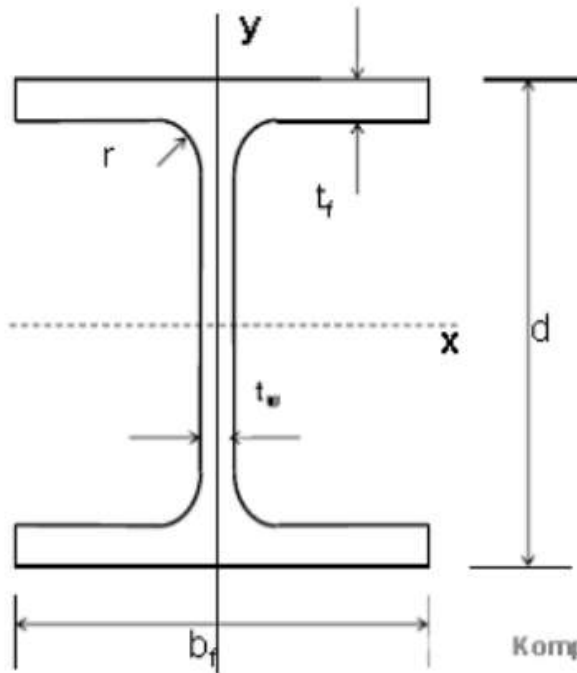
$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \rightarrow r_{ts}^2 = \frac{I_y \cdot h_o}{2 S_x} \rightarrow \text{Radius Girasi efektif}$$

Besaran penampang berbentuk I

Ada di Tabel Baja Ind

- d, b_f, t_w, t_f, r
- $I_x, I_y, A, S_x, S_y, r_x, r_y$

Tidak Ada di Tabel Baja Indonesia:



$$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4}$$

Konstanta pilin

$$Z_x = b_f t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - 2t_f)^2$$

$$Z_y = \frac{2}{4} t_f b_f^2 + \frac{1}{4} (d - 2t_f) t_w^2$$

$$J = \frac{2b_f t_f^3 + (d - t_f) t_w^3}{3}$$

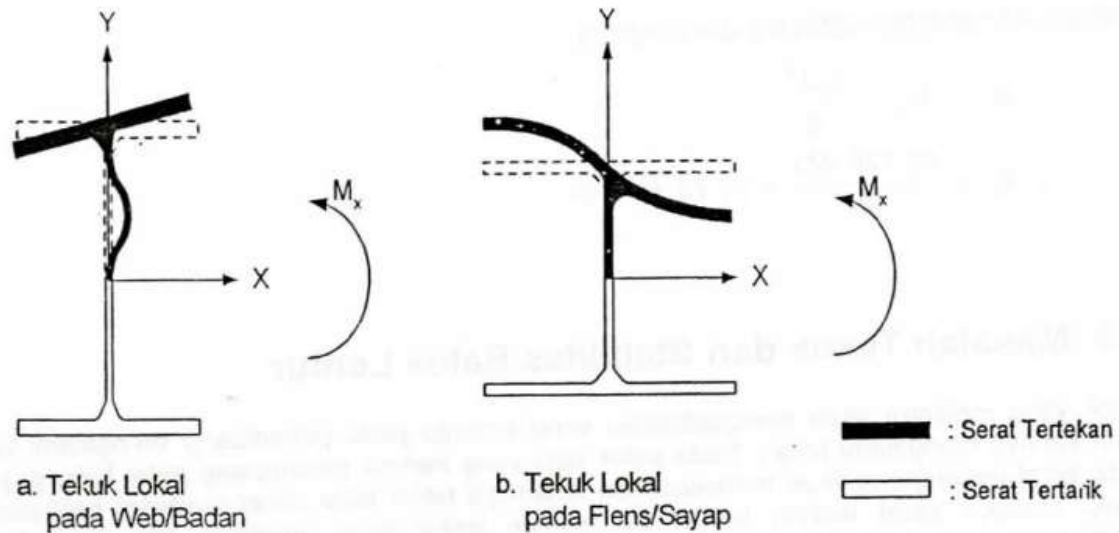
Konstanta torsi

$$h = d - 2t_f - 2r$$

Komponen Struktur Baja Teori (SHI
4720-2045 I DEN)

TEKUK LOKAL (LOCAL BUCKLING)

Struktur yang mengalami Lentur murni juga memiliki kecenderungan untuk menekuk pada pelat-pelat penyusunnya, akan tetapi ini terjadi pada pelat-pelat penyusun balok yang mengalami tekan, terlalu tipis/langsing.



Tekuk Lokal Pelat Badan dan Pelat Sayap pada Balok Lentur

Jenis Penampang Berdasarkan Kelangsingan :

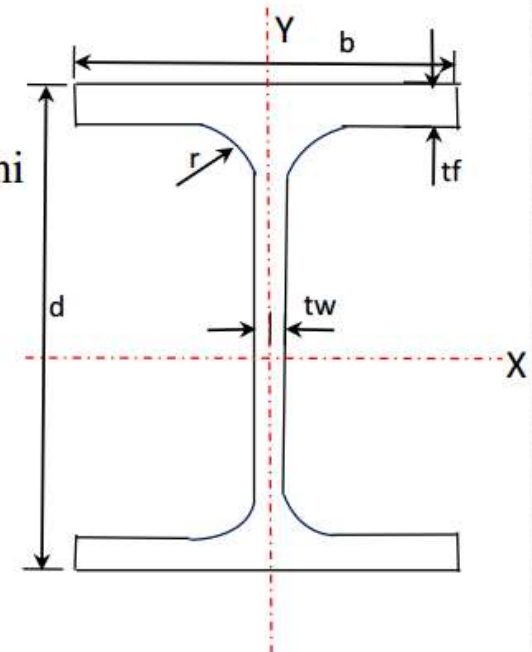
Profil Kompak (Compact Section) $\lambda < \lambda_p$

Profil dengan elemen2 penyusunnya cukup kaku (Stocky)
Sehingga secara keseluruhan profil tersebut mampu mencapai kondisi plastik penuh(seluruh penampang leleh) & tidak mengalami tekuk.

Dikatakan kompak bila perbandingan antara lebar terhadap tebal tidak melebihi λ_p .

Profil Tak Kompak (Non Compact Section) $\lambda < \lambda_p < \lambda_r$.

Profil dengan elemen2 penyusunnya hanya sebagian saja yang mengalami kondisi plastis sebelum
Mengalami tekuk.



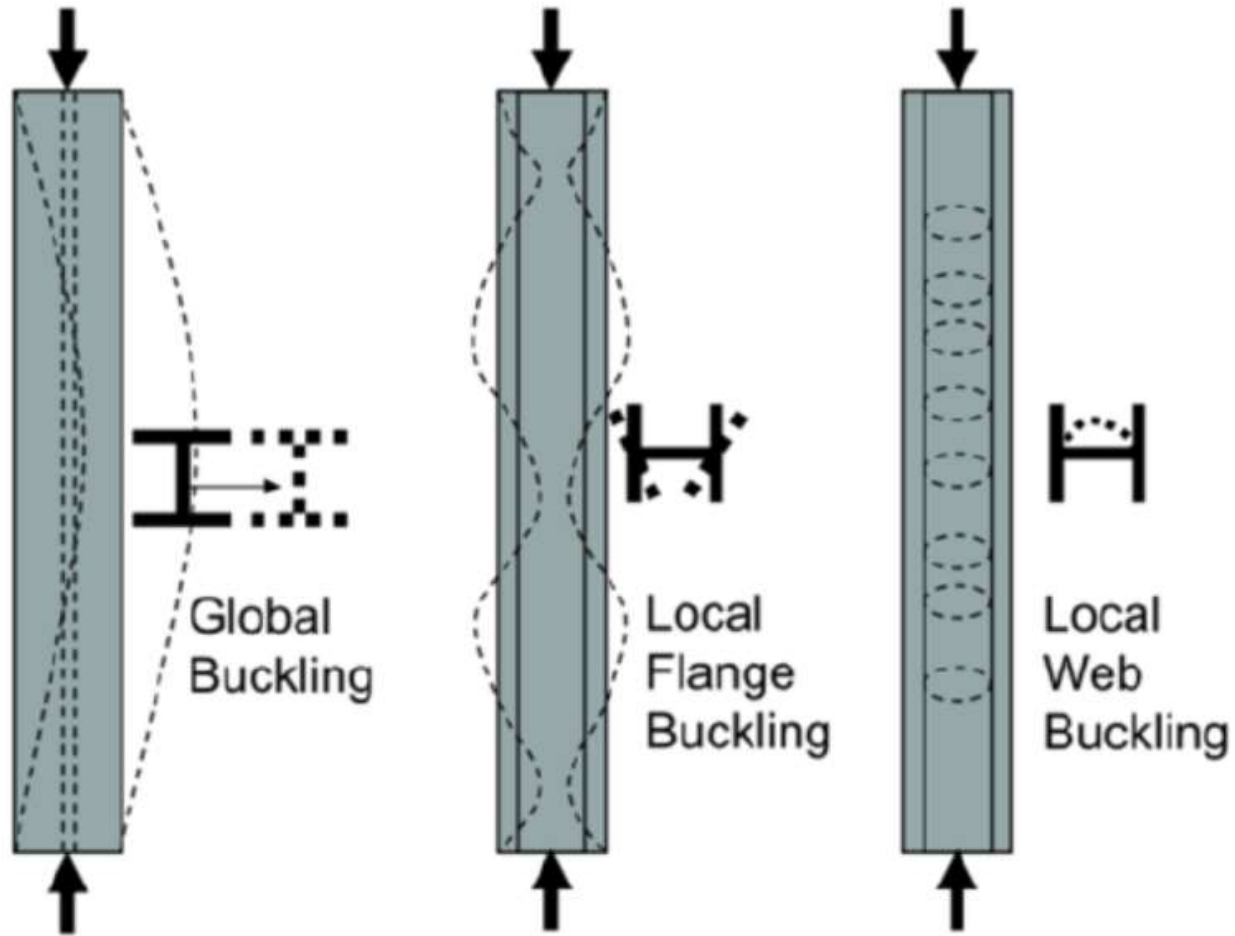
Profil Langsing (Slender Sectin) $\lambda < \lambda_r$

Penampang dengan ratio lebar terhadap tebal melebihi harga λ_r .
Seluruh elemen plat penyusun mengalami tekuk lokal sebelum sempat mengalami leleh.

Kelangsingan λ_p dan λ_r untuk beberapa pleat penampang yang mengalami momen lentur

Bisa dilihat di tabel 3.1 SNI-Baja -2015, kelangsingan penampang tersebut dibedakan untuk elemen terkekang (***stiffened Elements***) atau elemen tidak terkekang (***unstiffed elements***)

Tekuk Lokal dan Global



Penampang Kompak : $\lambda < \lambda_p$

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z_x$$

Penampang Tidak Kompak : $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Penampang Langsing : $\lambda < \lambda_r$

$$M_n = \frac{0.9 E k_c \cdot S_x}{\left(\frac{b}{2t_f}\right)^2}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}}$$


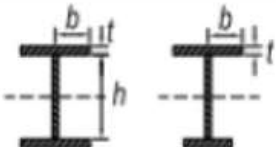
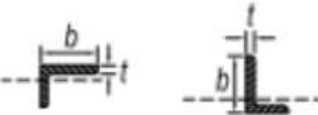
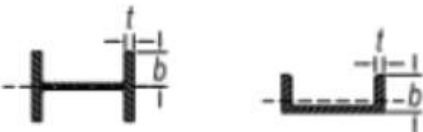

Nilai $k_c = 0.35$ sampai dengan 0.76

Elemen	λ	λ_p	λ_r
Flens	$\frac{b_f}{2t_f}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Pengelompokan Penampang



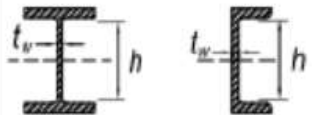
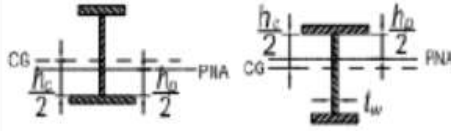
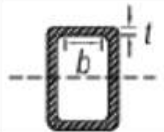
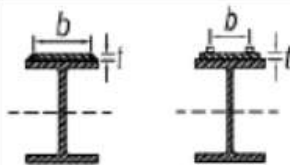
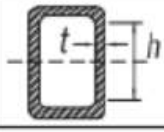

Batas λ_p dan λ_r untuk komponen struktur lentur

Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Examples
			λ_p (compact/ noncompact)	λ_r (noncompact/ slender)	
10	Flanges of rolled I-shaped sections, channels, and tees	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
11	Flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ ^{[a] [b]}	
12	Legs of single angles	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
13	Flanges of all I-shaped sections and channels in flexure about the weak axis	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
14	Stems of tees	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Komponen Struktur Baja - Tepuh (SNI 1729:2015, LRFD)

SNI 1729:2015 Table B4-1b

Batas λ_p dan λ_r untuk komponen struktur lentur

Stiffened Elements	15	Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Webs of singly-symmetric I-shaped sections	h_c/t_w	$\frac{\lambda_c \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.51 \frac{M_c}{M_r} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_c$ [c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Flanges of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Webs of rectangular HSS and boxes	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Round HSS	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	

Momen Nominal untuk Tekuk Lokal Flens pada Profil I Simetri ganda dengan Web Kompak, Lentur Terhadap Sumbu x

Bila flens nonkompak, yaitu: $\lambda_p < \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r$

$$M_n = M_{px} - (M_{px} - 0.7F_y S_x) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Bila flens langsing, yaitu: $\lambda_r < \frac{b_f}{2t_f}$

$$M_n = \frac{0.9Ek_c S_x}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \quad \text{dengan} \quad k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$$

Ambil nilai k_c di antara 0.35 sampai dengan 0.76

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Komponen Struktur Baja - Teori (SNI 1729:2015, LRFD)

Kuat Nominal Lentur Penampang dengan Pengaruh Tekuk Lokal:

Momen Leleh, M_y adalah Momen Lentur yang ,enyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yang besarnya sama dnegan $f_y \cdot S_x$

$$M_y = f_y \cdot S_x$$

Kuat Lentur Momen Plastis, M_p adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh, dan besarnya $M_p \leq f_y \cdot Z_x$ atau $M_p = 1.5 \cdot M_y$

Momen Batas Tekuk, $M_r = S_x (f_y - f_r)$

Perhitungan Modulus Penampang elastis & Plastis harus dilakukan secermat mungkin, dengan memeprhitungkan adanya lobang-lobang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik & tekan, arah sumbu lentur yang ditinjau sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam bata-batas ketelitian yang dapat diterima.

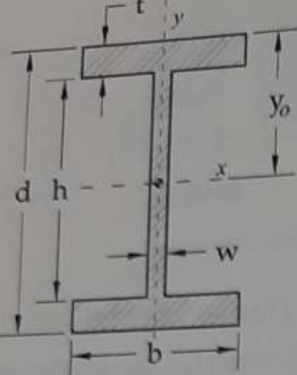
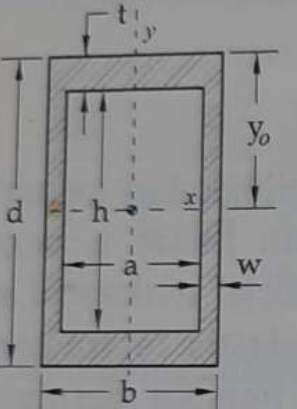
Dimana : S_x = Modulus Penampang Elatsis

Z_x = Modulus Penampang Plastis

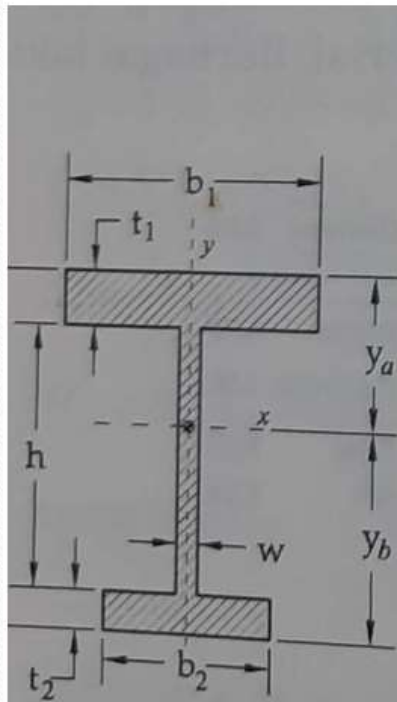
f_y = Tegangan Leleh

f_r = Tegangan Residu

MOMEN INERTIA, MODULUS ELASTIS & PLASTIS PENAMPANG PROFIL WF & BOX

Penampang	Properti elastis dan plastis penampang
	$I_x = \frac{1}{12}(b(d^3 - h^3) + wh^3) \text{ dan } S_x = I_x / y_0$ $I_y = \frac{1}{12}(2tb^3 + hw^3) \text{ dan } S_y = I_y / (0.5b)$ $Z_x = bt(d - t) + 0.25wh^2$ $Z_y = 1.5S_y$
	$I_x = \frac{1}{12}(bd^3 - ah^3) \text{ dan } S_x = I_x / y_0$ $I_y = \frac{1}{12}(b^3d - a^3h) \text{ dan } S_y = I_y / (\frac{1}{2}b)$ $Z_x = \frac{1}{4}(bd^2 - ah^2)$ $Z_y = \frac{1}{4}(b^2d - a^2h)$

CENTER OF GRAVITY, MOMEN INERTIA & MODULUS PLASTIS PENAMPANG



$$A = b_1 t_1 + b_2 t_2 + hw$$

$$y_a = \left\{ \frac{1}{2} b_1 t_1^2 + b_2 t_2 \left(d - \frac{1}{2} t_2 \right) + hw \left(t_1 + \frac{1}{2} h \right) \right\} \frac{1}{A}$$

$$y_b = d - y_a$$

$$y_1 = y_a - \frac{t_1}{2}; \quad y_2 = y_b - \frac{t_2}{2}; \quad y_3 = y_a - \left(t_1 + \frac{h}{2} \right)$$

$$I_x = \frac{b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + wh^3}{12} + b_1 t_1 y_1^2 + b_2 t_2 y_2^2 + wh y_3^2$$

$$y_p = \frac{0.5A - b_1 t_1}{w} + t_1 \quad \text{dan} \quad y_q = d - y_p$$

$$Z_1 = b_1 t_1 \left(y_p - \frac{1}{2} t_1 \right) + \frac{1}{2} w \left(y_p - t_1 \right)^2$$

$$Z_2 = b_2 t_2 \left(y_q - \frac{1}{2} t_2 \right) + \frac{1}{2} w \left(y_q - t_2 \right)^2$$

$$Z_x = Z_1 + Z_2$$

Pengekang lateral

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan, L . Batas-batas bentang pengekang lateral ditentukan dalam Tabel 8.3-2.

Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_p \quad (8.3-2.a)$$

Bentang menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_y$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

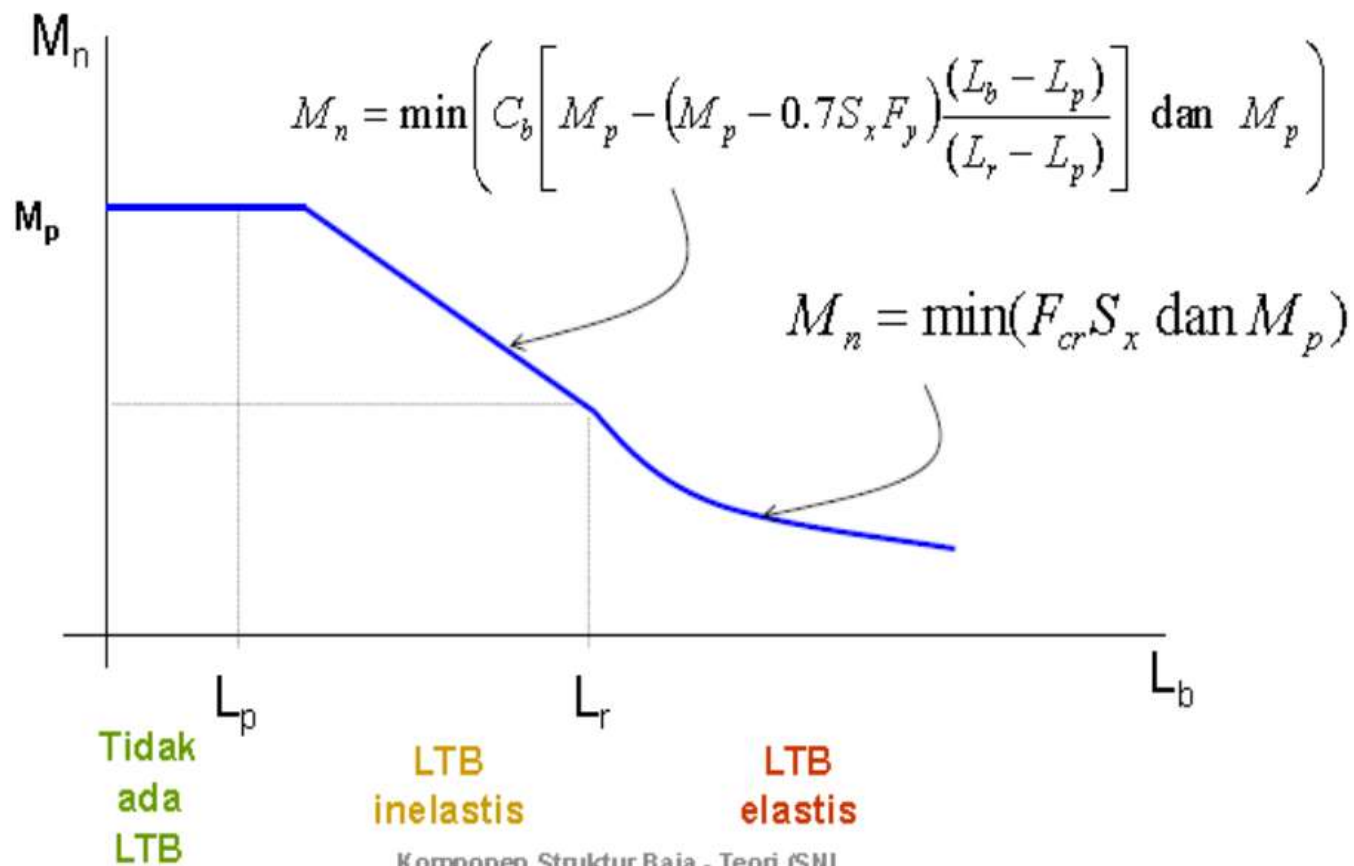
$$M_n = C_b \left[M_y + (M_p - M_y) \frac{(L_y - L)}{(L_y - L_p)} \right] \leq M_p \quad (8.3-2.b)$$

Bentang panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_y \leq L$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah

$$M_n = M_{cy} \leq M_p \quad (8.3-2.c)$$

Momen nominal M_n untuk Tekuk Torsi Lateral



$$\underline{Lb < Lp}$$

$$Mn = Mp = fy \cdot Zx$$

$$\underline{Lp < Lb < Lr}$$

$$Mn = Cb \left[Mp - (Mp - 0.70 fy \cdot Sx) \left(\frac{Lb - Lp}{Lr - Lp} \right) \right] \leq Mp$$

$$\underline{Lb > Lr}$$

$$Mn = Mcr = Fcr \cdot Sx \leq Mp$$

$$Fcr = \frac{Cb \cdot \pi \cdot E}{\left(\frac{Lb}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{Sx \cdot h_o} \left(\frac{Lb}{r_{ts}} \right)^2}$$

$$M_n = F_{cr} S_{33} \leq M_p$$

LB = Jarak pertambahan Lateral

Lp = Panjang Bentang yang tidak terkekang

$$I_w \approx I_y \cdot \frac{(hf - f)^2}{4}$$

$$L_p = 1.76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} =$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_{33} h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y S_{33} h_o}{E J_c} \right)^2}}$$

r_{ts} = ratio girasi efektif

E = Modulus Elastisitas

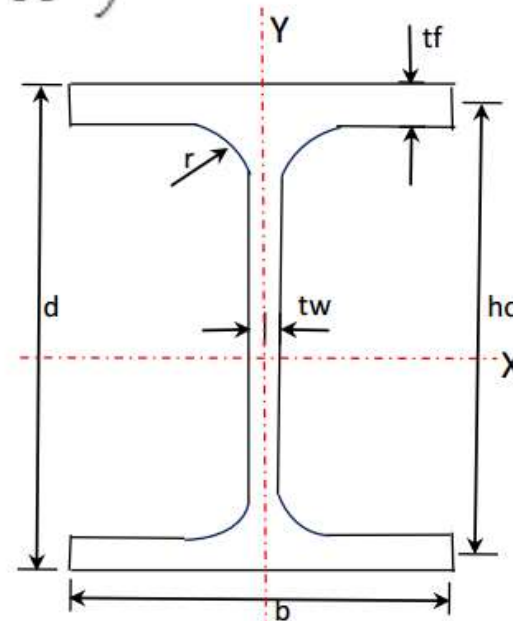
F_y = Tegangan Leleh

J = Modulus Inertia Puntir/Torsi

$C = 1$ (untuk simentris)

S_x = Modulus Penampang Elastis

h_o = Jarak antar pusat berat flens ($d - t_f$)



$I_x =$		mm ⁴	$I_x =$ Momen Inertia Arah-X
$I_y =$		mm ⁴	$I_y =$ Momen Inertia Arah-Y
$Z_x =$		mm ³	$Z_x =$ Modulus Penampang Plastis
$S_x = I_x/c$			
y		mm ³	$S_x =$ Modulus Penampang Elastis
$h_o = d - t_f$		mm	$h_o = d - t_f =$ Jarak antar Titik Berat Sayap
$f_y =$		Mpa	$f_y =$ Tegangan Leleh Baja
$E =$	200000	Mpa	$E =$ Modulus Elastisitas Baja
$J =$ Momen Inersia Polar atau konstanta puntir torsi			
$C_w =$ Konstanta Warping(Pilin) mm ⁶			
$\mu =$	0.03		Poisson ratio
$G =$		m ³	Modulus Geser

7.4.3.3 Persamaan interaksi aksial-momen

Dalam segala hal, salah satu dari dua persamaan interaksi aksial-momen berikut ini harus dipenuhi oleh setiap komponen struktur prismatis simetris ganda dan simetris tunggal.

$$(i) \text{ Bila } \frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (7.4-7a)$$

$$(ii) \text{ Bila } \frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (7.4-7b)$$

Keterangan:

- N_u adalah gaya aksial terfaktor, N
- N_n adalah kuat nominal penampang komponen struktur; ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.2 untuk komponen struktur tekan dan Butir 10.1 untuk komponen struktur tarik, N
- ϕ adalah faktor reduksi kekuatan
 $\phi = \phi_c$ adalah untuk komponen struktur tekan = 0,85
 $\phi = \phi_t$ adalah untuk komponen struktur tarik=0,9
- ϕ_b adalah faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur lentur = 0,90
- M_{rx}, M_{ry} adalah momen lentur nominal penampang komponen struktur masing-masing terhadap sumbu-x dan -y ditetapkan sesuai dengan Butir 8.2 dan 8.3, N-mm
- M_{ux}, M_{uy} adalah momen lentur terfaktor masing-masing terhadap sumbu-x dan -y, sudah termasuk pengaruh orde kedua, N-mm

Lendutan Balok

Dalam perencanaan balok, SNI 1729-2002 membatasi besarnya lendutan yang timbul pada balok. Dalam pasal tersebut disyaratkan lendutan maksimum balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah sebesar $L/360$, sedangkan untuk balok biasa lendutan tidak boleh lebih dari $L/240$. pembatasan ini dimaksudkan agar balok memberikan kemampuan layanan yang baik (serviceability). Besar lendutan pada beberapa jenis pembebanan balok yang umum terjadi ditunjukkan sebagai berikut:

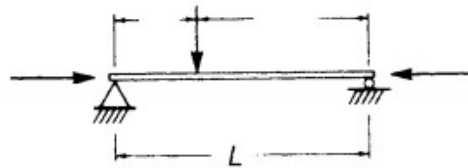
Lendutan Balok



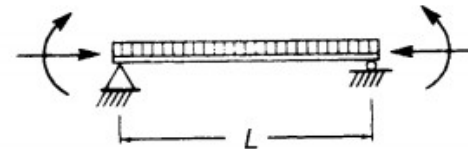
$$\Delta_{L/2} = -\frac{M_1 \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I}$$



$$\Delta_{L/2} = \frac{5 \cdot q_0 \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5}{48} \left(\frac{1}{8} q_0 \cdot L^2 \right) \frac{L^2}{EI} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_0 \cdot L^2}{E \cdot I}$$



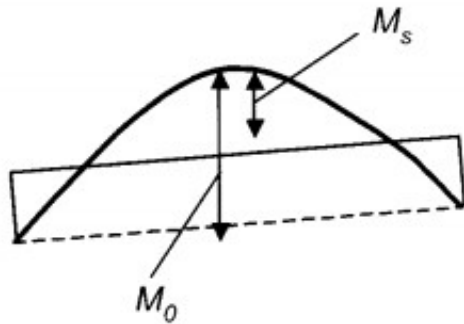
$$\Delta_{L/2} = \frac{P \cdot b (3L^2 - 4b^2)}{48 \cdot E \cdot I}$$



$$\Delta_{L/2} = \frac{5}{48} \frac{M_0 \cdot L^2}{EI} - \frac{M_1 \cdot L^2}{16EI} - \frac{M_2 \cdot L^2}{16EI}$$

$$\Delta_{L/2} = \frac{L^2}{48 \cdot EI} (5M_0 - 3M_1 - 3M_2)$$

Lendutan Balok



Karena $M_0 = M_s + 0,5(M_1 + M_2)$, maka

$$\Delta_{L/2} = \frac{5 \cdot L^2}{48 \cdot EI} (M_s - 0,1 \cdot M_1 - 0,1 \cdot M_2)$$

Dalam beberapa kasus tertentu, terkadang masalah batasan lendutan lebih menentukan dalam pemilihan profil balok daripada tahanan momennya.

Lendutan Balok

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, lendutan balok maksimum dibatasi sesuai tabel sebagai berikut:

Tabel 6.4-1 Batas lendutan maksimum¹.

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

Note : L = Panjang bentang

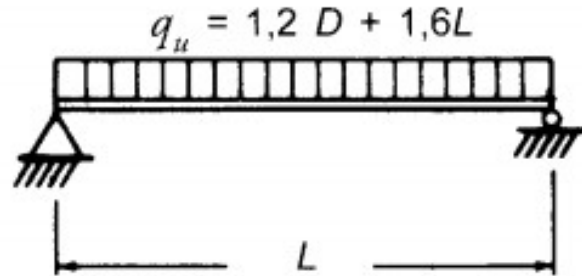
h = tinggi lantai

Beban tetap = Beban Mati + Beban Hidup

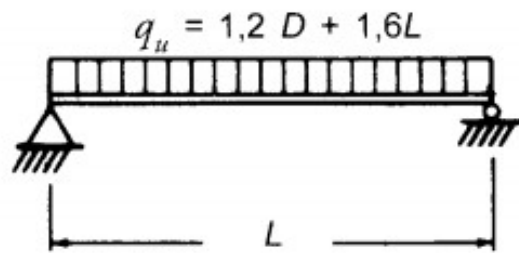
Beban sementara = Beban Permanen + Beban Dinamik

Contoh Soal 1

Rencanakan komponen struktur balok berikut yang memikul beban mati, $D = 200 \text{ kg/m}$ dan beban hidup $L = 1200 \text{ kg/m}$. Panjang bentang balok $L = 8 \text{ m}$. Mutu baja BJ 37. Disyaratkan batas lendutan tak melebihi $L/300$.



Penyelesaian



$$q_u = 1,2(200) + 1,6(1200) = 2,16 \text{ t/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot (2,16)(8)^2$$
$$= 17,28 \text{ ton.m}$$

Asumsikan penampang adalah kompak, maka tahanan rencana $\phi_b \cdot M_n$ adalah:

$$\phi_b \cdot M_n = \phi_b \cdot M_p = \phi_b \cdot Z_x \cdot f_y$$

$$Z_x \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi_b \cdot f_y} = \frac{17,28 \cdot 10^7}{0,90 \cdot 240} = 800000 \text{ mm}^3 = 800 \text{ cm}^3$$

Penyelesaian

Coba profil WF 300·200·8·12 ($Z_x = 822,60 \text{ cm}^3$)

Cek kelangsingan penampang:

$$\lambda_f = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{200}{2 \times 12} = 8,33$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_w} = \frac{294 - 2(12 + 18)}{8} = 29,25$$

λ_p

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

λ_r

$$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{370}{\sqrt{240 - 70}} = 28,37$$

$$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} = \frac{2550}{\sqrt{240}} = 164,6$$

Penyelesaian

Penampang kompak!

Selanjutnya dihitung I_x perlu untuk memenuhi syarat lendutan.

$$M_L = \frac{1}{8} \cdot 1200 \cdot 8^2 = 18,75 \text{ ton.m} = 18,75 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

(untuk memeriksa syarat lendutan, hanya beban hidup saja yang dipertimbangkan)

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot EI}$$

$$I_{x \text{ perlu}} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot E} = \frac{5 \times 9,6 \cdot 10^7 \times 8000^2}{48 \times 200000 \times \left(\frac{8000}{300} \right)} = 12000 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 = 12000 \text{ cm}^4$$

Penyelesaian

Profil WF 300.200.8.12 tak mencukupi karena memiliki $I_x = 11300 \text{ cm}^4$. Selanjutnya profil diganti dengan WF 350.175.7.11 yang memiliki $I_x = 13600 \text{ cm}^4$ dan $Z_x = 840,85 \text{ cm}^3$.

Cek lendutan:

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot EI} = \frac{5 \times 9,6 \cdot 10^7 \times 8000^2}{48 \times 200000 \times 13600 \cdot 10^4} \\ &= 23,53 \text{ mm} < \frac{L}{300} (= 26,67 \text{ mm})\end{aligned}$$

Dalam contoh soal ini tampak bahwa kondisi batas layan (lendutan) lebih menentukan daripada kondisi batas tahanan, dalam proses desain profil yang aman.

Terima Kasih
