

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Dalam konstruksi bangunan sipil, struktur berperan penting untuk menopang struktur bangunan di atasnya. Beberapa unsur bangunan yang merupakan bagian dari struktur antara lain adalah balok dan pelat, karena balok merupakan struktur melintang yang menopang beban horisontal dari suatu bangunan yang akan berfungsi menjaga stabilitas terhadap gaya ke samping, sedangkan pelat merupakan elemen horisontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup. Sehingga dalam perencanaan balok dan pelat sangat diperhatikan agar struktur mampu menahan seluruh beban yang bekerja sehingga struktur tidak runtuh.

#### **2.2 Sistem Struktur**

Fungsi dari komponen-komponen struktur sendiri yaitu dapat menopang berat sendiri dan beban yang berasal dari luar. Selain itu, fungsi lainnya adalah untuk mendistribusikan gaya-gaya yang sudah didapat tersebut untuk diteruskan pada struktur bawah atau pondasi dengan tidak mengesampingkan adanya perubahan dari bentuk, kesatuan dan kemampuan daya tahanan dari struktur itu sendiri. Contoh dari sistem struktur itu sendiri diantaranya balok dan kolom.

Kebanyakan dari komponen-komponen struktur dapat dikaji dengan cara yang mudah, seperti halnya komponen satu dimensi contohnya seperti balok, kolom, busur, elemen rangka atau elemen dua dimensi contohnya seperti slab, pelat, dan bekisting. Akan tetapi, pada komponen seperti halnya *shear wall*, dibutuhkan kajian yang lebih mendetail lagi.

Agar mudah dipahami, sistem struktur itu sendiri dikategorikan pada dua cara pendistribusian beban, antara lain penahan beban vertikal dan penahan beban horisontal, yang mana pada realitanya, kedua sistem ini bekerja bersama satu sama lain. Pengkategorian komponen-komponen struktur kebanyakan dititik beratkan

pada dua hal yakni sistem struktur secara horisontal dan sistem struktur secara vertikal.

### **2.2.1 Sistem Lantai (*Floor Systems*)**

Kebanyakan dari sistem ini memiliki fungsi untuk menahan macam-macam beban vertikal antara lain beban hidup, beban mati dan beban mati tambahan yang mana kajiannya mencakup kapasitas lentur, geser dan perpaduan antara kapasitas lentur dan geser.

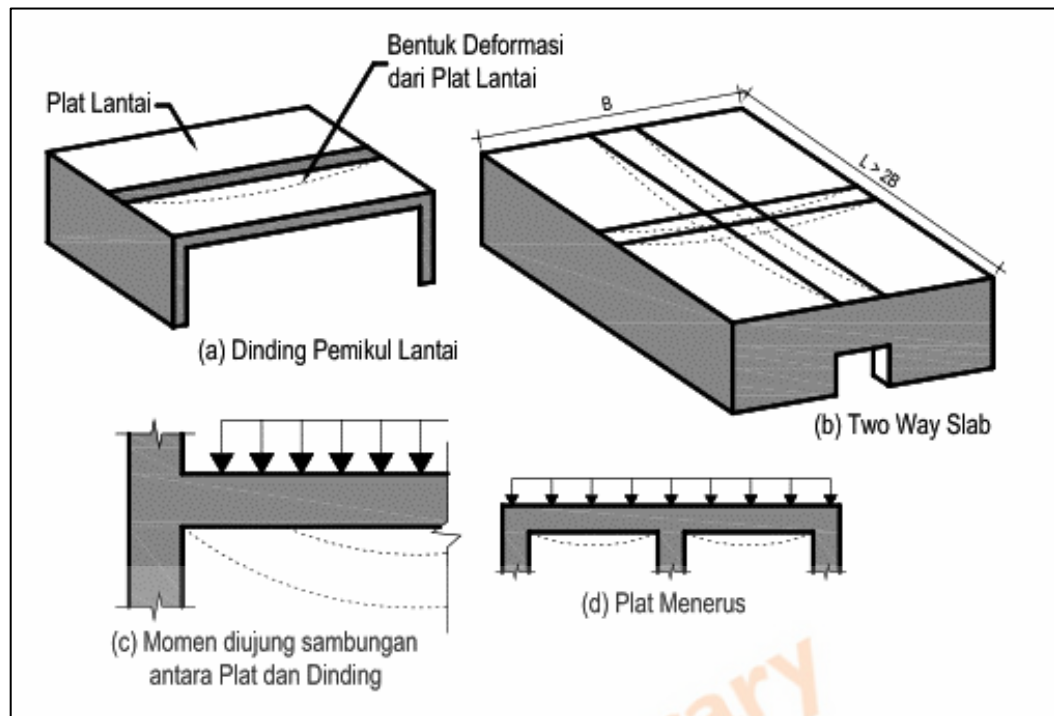
Sistem lantai terbagi menjadi lima jenis sistem struktur sebagai berikut.

#### **2.2.1.1 Sistem Dinding Penahan Lantai**

Pada sistem dinding penahan lantai ini, dinding yang padat kebanyakan mendukung pelat lantai yang memiliki ketebalan antara 10 – 20 cm. Sistem dinding pelat lantai ini kebanyakan diperuntukkan pada bangunan berlantai satu sampai dengan empat. Apabila pelat tersebut ditahan pada kedua sisi saja, yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1 (a)**, lekukan pelat hanya pada satu arah saja, yang sering disebut sebagai pelat satu arah. Apabila keempat sisi menopang pelat dan masing-masing sisi memiliki rasio kurang dari dua antara satu dengan yang lainnya, maka pelat akan melekuk pada arah  $x$  dan  $y$ , pada umumnya kita kenal dengan sebutan pelat dua arah.

Apabila pelat termasuk ke dalam bidang dengan bentang yang lebar, yakni perbandingan antara arah memanjang dan arah lebarnya lebih dari dua, maka lendutan pada arah yang pendek nilainya akan menjadi sangat kecil apabila dibandingkan dengan arah yang panjang, maka hal tersebut membuat sifat pelat berperilaku menjadi pelat satu arah.

Apabila bagian vertikal tidak terputus dengan lantai, pelat tidak ditopang secara sempurna, sehingga cenderung menimbulkan momen puntir. Kemudian yang sering digunakan, ialah pelat satu arah menerus atau pelat dua arah yang menerus, tergantung lentur mana yang berpengaruh, apakah terjadi dalam satu arah atau dua arah. Dalam sistem ini dinding pemikul mendukung pelat seperti pada **Gambar 2.1**.

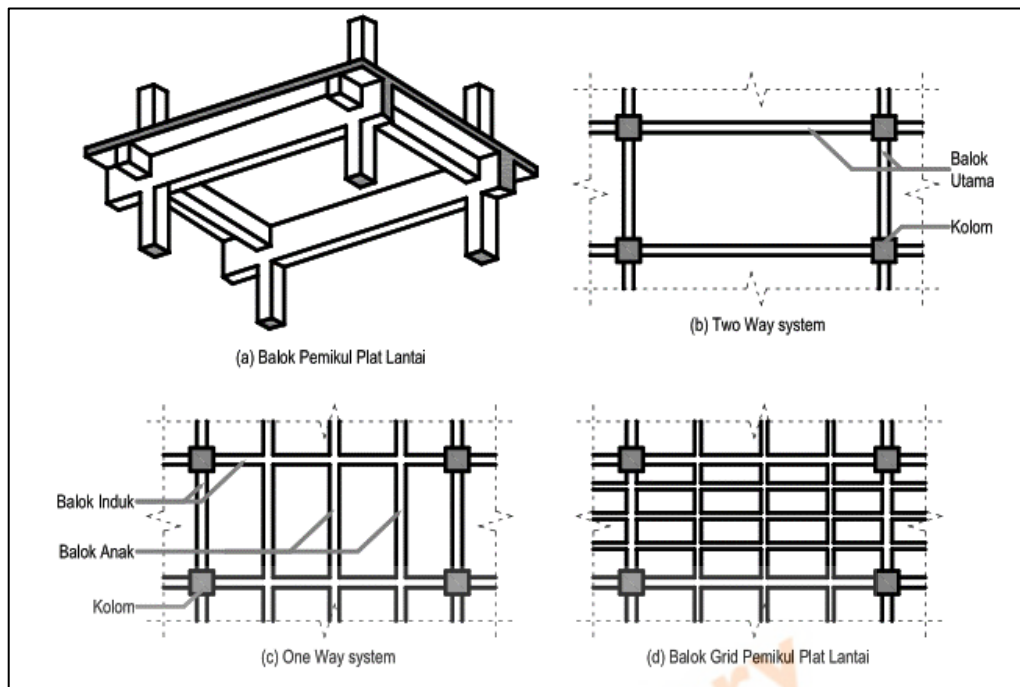


**Gambar 2. 1** *Wall Support Slab System*

Sumber: Afwa, Teguh, Dacrea, Yulia. (2008)

### 2.2.1.2 Sistem Balok Pemikul Lantai (*Beam-Supported Slab System*)

Seperti juga dinding pendukung, sistem ini dapat digolongkan menjadi *two-way* atau *one-way*, tergantung dari dimensi *drop panel*. Jika balok mempunyai kekakuan yang besar, maka lendutan balok tidak perlu diperhitungkan. Namun apabila balok mempunyai kekakuan yang sangat kecil, maka lendutan dari balok harus diperhitungkan, yang kemudian akan mempengaruhi juga lendutan pada pelat lantai.



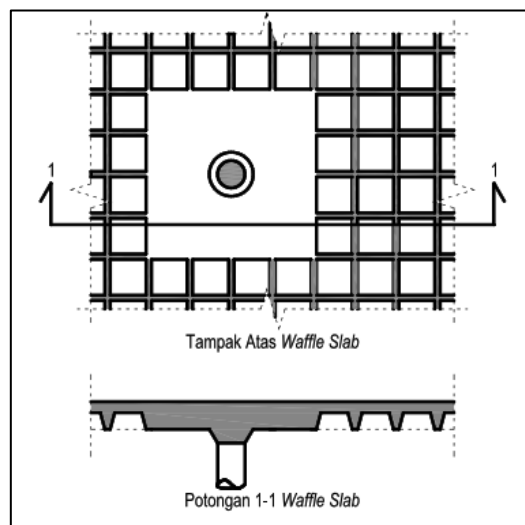
**Gambar 2. 2** *Beam Supported Slab System*

Sumber: Afwa, Teguh, Dacrea, Yulia. (2008)

### 2.2.1.3 Ribbed Slab System

Sistem ini merupakan salah satu sistem pelat-balok yang istimewa, dikarenakan pelat merupakan pelat yang tipis dengan tebal 5 cm sampai dengan 10 cm dan balok yang disebut *rib*, sangat langsing dan memiliki jarak yang dekat yaitu kurang dari 150 cm. Balok *rib* mempunyai tebal kurang lebih 6,5 cm dan mempunyai tinggi 3 atau 4 kali tebalnya yang mana hal tersebut dapat didesain dengan pemodelan satu arah atau dua arah dan lazimnya merupakan proses cor di tempat..

Pelat rib dua arah umumnya dikenal dengan nama *waffle slab*. Balok atau dinding pengaku umumnya mendukung sistem ini sepanjang sisi terluar. *Waffle slabs*, bisa diletakkan langsung pada kolom, umumnya pelat yang dibuat langsung menyatu dengan kolom.

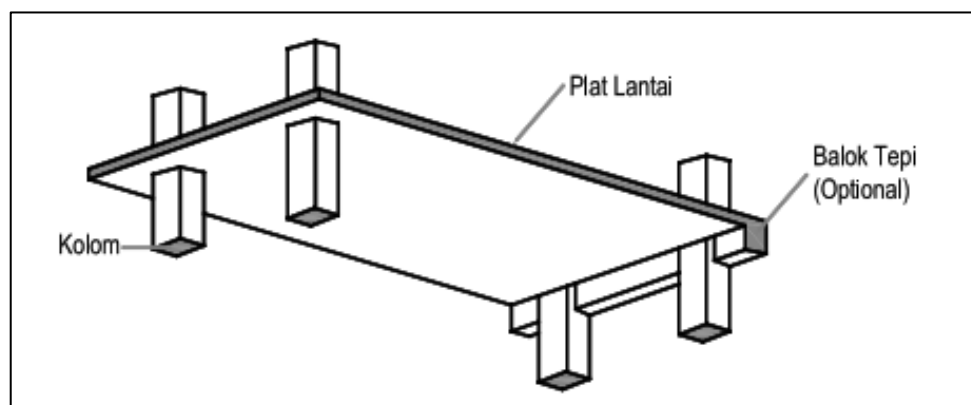


**Gambar 2. 3** *Ribbed Slab System*

Sumber: Afwa, Teguh, Dacrea, Yulia. (2008)

#### 2.2.1.4 Sistem Pelat Datar (*Flat Plate System*)

Pada sistem ini, pelat lantai didukung langsung oleh kolom, tanpa adanya balok pendukung. Pelat umumnya memiliki tebal yang sama, kurang lebih 150 mm untuk bentang 4 - 6 m. gaya tahanan bebannya dibatasi oleh kuat geser dan gaya momen pada kolom penahan. Sistem ini umumnya digemari karena memiliki nilai estetika yang tinggi dan umumnya digunakan di negara-negara yang sedang berkembang contohnya seperti hotel atau apartmen, yang mana beban lantai masih rendah dan bentang yang digunakan masih tergolong pendek.

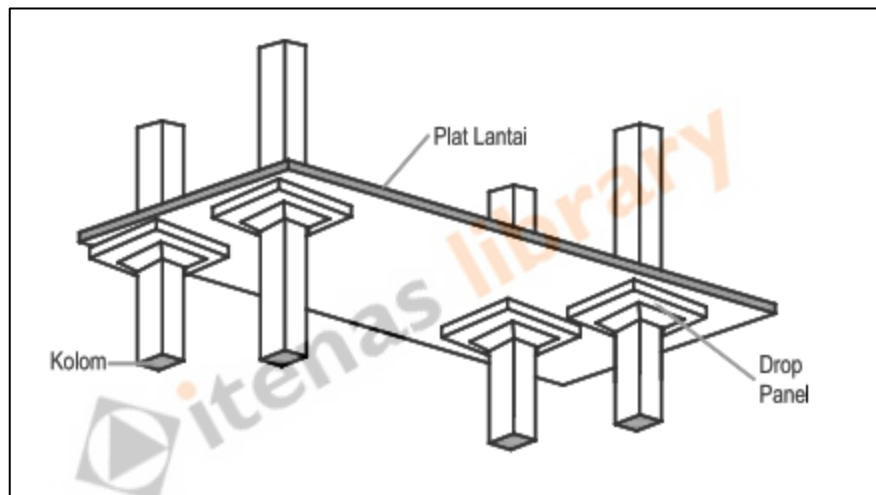


**Gambar 2. 4** *Flat Plate System*

Sumber: Afwa, Teguh, Dacrea, Yulia. (2008)

### 2.2.1.5 Flat Slab System

Sistem Flat Slab sering digunakan oleh para arsitek dan perancang bangunan. Sistem ini merupakan sistem dimana di dekat kolom memberikan kekuatan pada pelat. Perkuatan ini disebut *drop panel* atau disebut juga *column capitals*. Dibandingkan dengan *flat pelate system*, sistem ini dapat dipakai untuk beban yang lebih tinggi, dan bentang yang lebih panjang. Ketebalan pelat dapat berkisar diantara 125 - 300 mm pada bentang 4 - 9 m. Membandingkan dengan sistem pelat lantai yang lain, sistem ini memiliki beban mati satuan luas paling tinggi.



**Gambar 2. 5 Flat Slab System**

Sumber: Afwa, Teguh, Dacrea, Yulia. (2008)

### 2.2.2 Sistem Vertikal

Sistem vertikal terdiri dari vertikal tiga dimensi yang lazimnya tersusun dari balok dan kolom. Untuk lebih mudahnya, sistem vertikal ini terbagi menjadi 8 bagian berdasarkan arah memanjang dan melintang pada gedung diantaranya:

1. Kolom
2. Dinding (*Walls*)
3. Balok Penyalur (*Transfer Girders*)
4. *Suspenders*
5. Portal (*Frames*)
6. Dinding Geser (*Shear Walls*)

7. *Tubes*
8. Sistem Rangka Kaku (*Rigid Frame System*)

### 2.3 Struktur Baja

Struktur baja adalah struktur logam yang terbuat dari komponen baja struktural yang saling berhubungan yang mana diperuntukan menopang beban dan memiliki nilai kaku yang tinggi. Dikarenakan tingkat kuat baja cukup tinggi, struktur baja dapat diandalkan dan membutuhkan lebih sedikit material dibandingkan jenis struktur lain seperti struktur beton dan struktur kayu.

Dalam konstruksi masa kini, struktur baja dipakai pada kebanyakan aneka struktur yang mencakup bangunan-bangunan yang tinggi, bangunan berlantai banyak, sistem pendukung peralatan, jembatan, terminal bandara, infrastruktur, pabrik industri berat, menara, rak pipa dan lain-lain.

Struktur baja meliputi bagian struktur dalam sebuah bangunan yang terbuat dari baja. Baja struktural adalah material konstruksi baja yang dibuat dari bentuk dan komposisi kimia tertentu yang dapat disesuaikan dengan spesifikasi pada proyek tersebut.

### 2.4 Pelat

#### 2.4.1 Pengertian Pelat

Dalam pengertian teknik secara umum, pelat didefinisikan sebagai elemen horisontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke rangka vertikal dari sistem struktur.

Pelat adalah struktur dengan permukaan yang rata, atau melengkung yang memiliki perbandingan yang kecil antara tebal dengan panjang dan lebarnya.

Berdasarkan aksi strukturalnya, pelat dibedakan menjadi empat (Szilard, 1974), yakni:

- a. Pelat kaku: merupakan pelat tipis yang memiliki ketegaran lentur (*flexural rigidity*), dan memikul beban dengan aksi dua dimensi, terutama dengan momen dalam (lentur dan puntir) dan gaya geser transversal, yang umumnya

sama dengan balok. Pelat yang dimaksud dalam bidang keteknikan adalah pelat kaku.

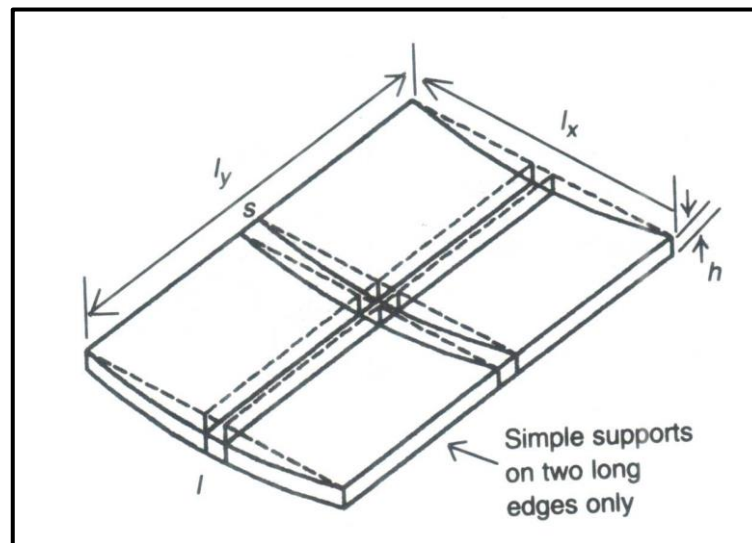
- b. Membran: merupakan pelat tipis tanpa ketegaran lentur dan memikul beban lateral dengan gaya geser aksial dan gaya geser terpusat. Aksi penahan beban ini dapat disubstitusi dengan jaringan kabel yang tegang karena memiliki ketebalan yang sangat tipis membuat kapasitas pada momennya dapat diabaikan.
- c. Pelat fleksibel: merupakan gabungan pelat kaku dan membran yang memikul beban dari luar dengan gabungan aksi momen bagian dalam, gaya geser transversal dan gaya geser terpusat, serta gaya aksial. Struktur ini sering digunakan dalam industri ruang angkasa karena memiliki keuntungan antara perbandingan berat dengan bebannya.
- d. Pelat tebal: merupakan pelat dimana kondisi tegangan pada bagian dalam menyerupai kondisi menerus tiga dimensi

## **2.4.2 Jenis-jenis Pelat**

### **2.4.2.1 Pelat Satu Arah**

Pelat satu arah ialah pelat yang didukung pada dua sisi yang saling berhadapan sehingga momen dan gaya geser lentur hanya timbul pada satu arah. Pelat satu arah memiliki perbandingan antara arah x dan arah y lebih besar dari 2, pelat mampu menahan beban merata maupun beban terpusat. Pada pelat satu arah, selain tulangan utama perlu juga dipasang tulangan susut yang arahnya tegak lurus dengan tulangan utama. Tulangan pokok pelat satu arah dipasang pada arah tegak lurus penopangnya. Analisis dan perencanaan tulangan pelat dapat berlaku untuk setiap satuan lebar pelat.



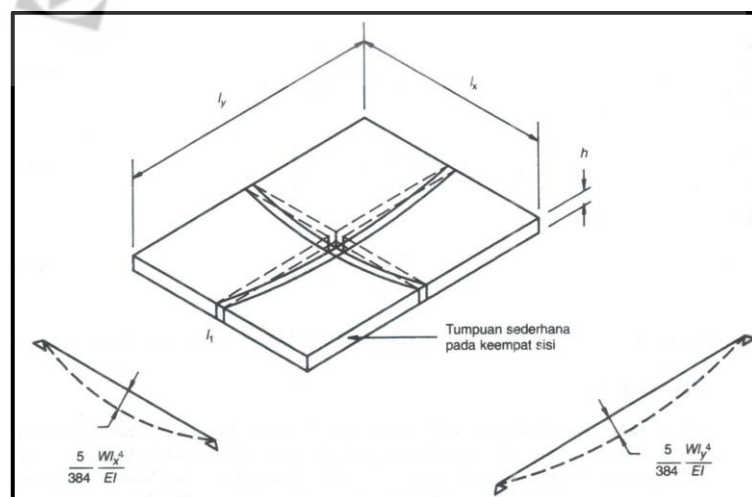


**Gambar 2. 6** Pelat Satu Arah

Sumber: Ananda, I.F. (2016)

#### 2.4.2.2 Pelat Dua Arah

Pelat dua arah ialah pelat yang ditahan oleh balok pada kedua arah x dan arah y di empat sisi oleh penahan di kedua arah. Pada pelat dua arah, perbandingan antara panjang arah y ( $l$ ) dengan panjang arah x ( $b$ ) kurang dari dua. Dalam pelat dua arah, beban akan didistribusikan merata pada dua arah.



**Gambar 2. 7** Pelat Dua Arah

Sumber: Ananda, I.F. (2016)

## 2.5 Balok

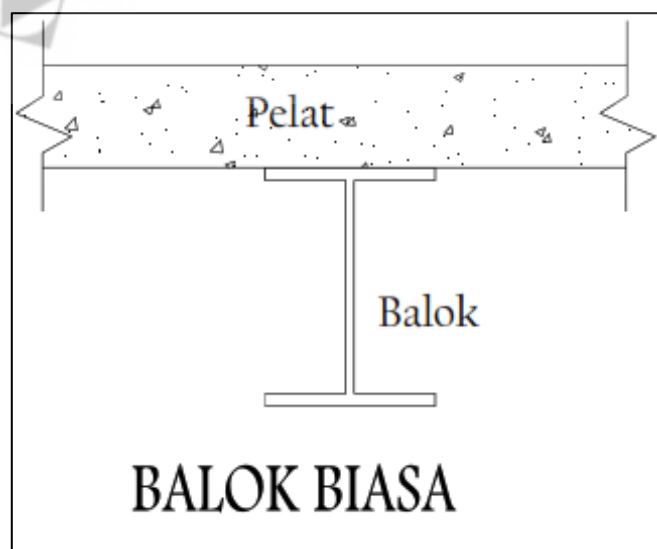
Balok merupakan bagian struktur yang berfungsi sebagai penopang pelat lantai dan pengikat kolom pada bagian atas lantai. Fungsinya adalah sebagai rangka penguat horisontal bangunan karena adanya beban-beban.

Apabila gelagar suatu balok bentangan sederhana menahan beban yang berakibat timbulnya momen lentur, maka akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Regangan-regangan pada balok tersebut berakibat timbulnya gaya tegang yang harus ditopang oleh balok, tegangan tekan di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah. Agar stabilitas tetap terjaga, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut karena tegangan baja dipasang di daerah tegangan tarik bekerja, pada daerah sekitar serat terbawah, maka secara teoritis balok tersebut berperilaku sebagai tulangan baja tarik saja (Dipohusodo,1996).

### 2.5.1 Jenis-jenis Balok

#### 1. Balok biasa

Balok biasa ialah balok yang mana saat menopang beban hanya mengandalkan aksi antara balok dengan pelat yang terjadi karena adanya *shear connector* yang ada di balok terhadap pelat.

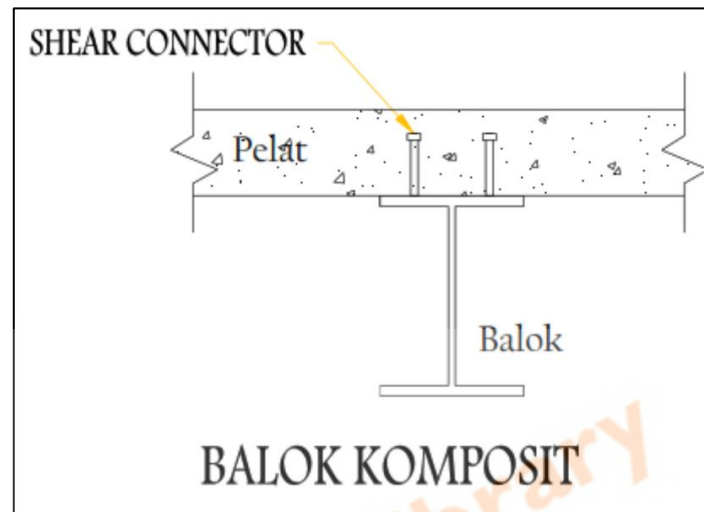


**Gambar 2. 8** Perilaku Balok Biasa Terhadap Pelat

Sumber: Nobel. (2014)

## 2. Balok Komposit

Balok komposit ialah balok yang dalam menopang beban mengandalkan aksi komposit antara balok dengan pelat lantai yang terjadi karena adanya *shear connector* pada balok ke pelat.



**Gambar 2. 9** Perilaku Balok Komposit Terhadap Pelat

Sumber: Nobel. (2014)

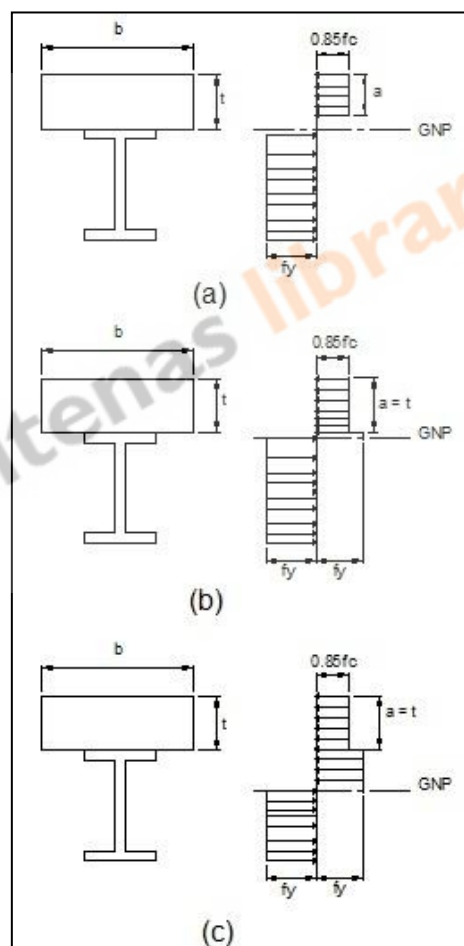
Balok yang dapat menjadi balok komposit adalah balok anak saja. Supaya tercapainya aksi komposit, maka ada beberapa syarat yang perlu dipertimbangkan, yaitu:

- Hanya profil dengan bentuk I dan C yang dapat didesain komposit oleh *software* ETABS
- Balok direncanakan momen lentur di kedua ujungnya
- Balok pada arah horisontal
- Pelat yang digunakan adalah *deck slab* atau *solid slab*.
- Pelat yang digunakan pelat satu arah

### 2.6 Analisa Penampang Komposit

Apabila balok komposit telah mencapai keadaan batas plastis, maka tegangan yang ada otomatis disalurkan dalam salah satu dari tiga kondisi seperti pada **Gambar 2.10**. Penyaluran beban ini disebut sebagai Distribusi Tegangan *Equivalent Whitney*. **Gambar 2.10a** menunjukkan distribusi yang berhubungan

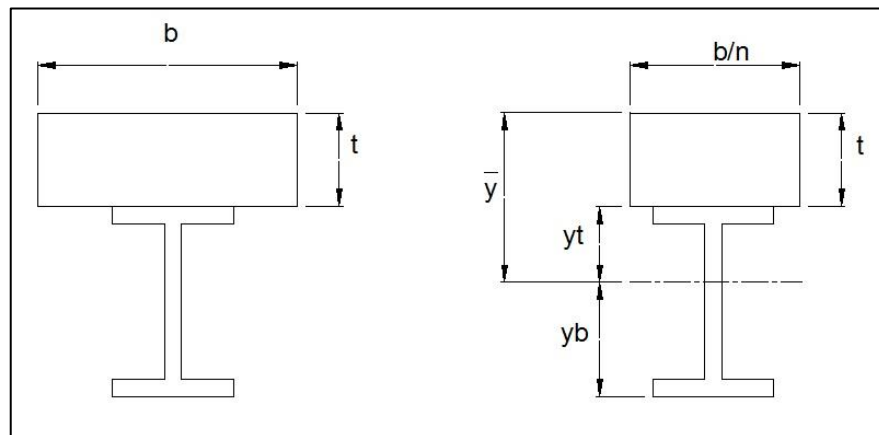
dengan tegangan tarik luluh maksimum pada baja dan tegangan tekan parsial atau sebagian pada beton, dengan sumbu atau garis netral plastis terletak pada beton. Tegangan tarik beton cukup kecil dan tidak dihitung, sehingga tegangan tarik tidak perlu ditunjukkan pada beton. Pada keadaan tersebut perlu cukup *shear connector* yang dibutuhkan untuk memastikan perilaku komposit penuh. Pada **Gambar 2.10b**, bagian tegangan tekan beton sedikit demi sedikit membesar hingga setebal sama dengan tebal pelat lantai dan garis netral plastis terletak pada sayap profil baja. Sehingga tegangan tekan akan terjadi pada bagian sayap. Kemungkinan ketiga adalah letak garis netral plastis di bagian badan profil baja **Gambar 2.10c**.



**Gambar 2. 10** Kemungkinan Letak Garis Netral Plastis

Sumber: Sumiyanto. (2018)

## 2.7 Lebar Efektif



**Gambar 2. 11** Penentuan Lebar Efektif Pelat Beton

Sumber: Sumiyanto. (2018)

Untuk menghitung sifat penampang komposit secara praktis, penerapan konsep lebar efektif diperlukan. Lebar dari pelat beton yang ikut serta dalam aksi komposit disebut lebar efektif. Menurut Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2015), lebar efektif pelat lantai yang memanjang pada setiap sisi dari sumbu balok harus lebih dari:

1. Seperdelapan dari bentang balok (jarak antara tumpuan)
2. Setengah jarak bersih antara sumbu balok-balok yang bersebelahan
3. Jarak ke tepi pelat

Sedangkan untuk balok anak, ketiga kriteria tersebut tidak berlaku, sehingga lebar efektif untuk balok anak harus dipilih yang paling kecil dari:

1. Seperempat panjang bentang
2. Jarak spasi dari tengah balok ke tengah balok lainnya

Pada kebanyakan studi, kuat lentur nominal akan tercapai apabila semua bagian profil baja dan beton hancur dalam tekanan (untuk momen lentur positif). Distribusi tegangan yang sesuai pada penampang komposit disebut distribusi tegangan plastis. Spesifikasi AISC untuk kekuatan lentur positif adalah sebagai berikut:

- a. Untuk bentuk yang kompak, yakni  $h/t_w \leq 3,76\sqrt{E/F_y}$ , kuat lentur nominal  $M_n$  diperoleh dari tegangan distribusi plastis

- b. Untuk  $h/t_w \geq 3,76\sqrt{E/F_y}$ , dengan  $\phi_b = 0,9$  dan  $M_n$  ditentukan berdasarkan distribusi tegangan-tegangan elastis pada perhitungan yang diakibatkan tiang perancah.

Dikarenakan pada tugas akhir ini menggunakan profil yang kompak, maka bahasan pada tugas akhir ini difokuskan kepada tipe yang kompak.

## 2.8 Cek Kekompakan Profil

1. Cek kekompakan terhadap sayap profil

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\frac{b}{2t_f} < 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

2. Cek kekompakan terhadap badan profil

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\frac{h}{t_w} < 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

## 2.9 Perhitungan Momen Kapasitas Penampang Komposit

Tegangan-tegangan pada penampang komposit dihitung dengan metode transformasi luas, dimana luas efektif beton ditransformasikan menjadi luas baja yang ekuivalen terhadap luas material lainnya.

Dengan demikian luas efektif beton:

$$A_c = b_{ef} \cdot t_p$$

Keterangan:

$A_c$  = luas efektif beton

$b_{ef}$  = lebar efektif pelat beton

$t_p$  = tebal pelat yang dihitung dari atas dek hingga tepi atas pelat beton

Pada profil baja komposit yang berperilaku kompak, kapasitas momen profil perlu dikaji dengan cara distribusi tegangan plastis, sedangkan yang berperilaku tidak kompak, dapat dianalisis dengan cara distribusi tegangan elastis.

Besar gaya tekan  $C$  pada pelat beton yaitu nilai terkecil dari:

$$C = A_s \cdot F_y$$

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

$$C = \sum_{n=1}^n Q_n$$

Keterangan:

$C$  = gaya tekan pada pelat beton

$A_s$  = luas penampang profil baja

$f'_c$  = mutu beton pada pelat

$A_c$  = luas efektif beton

$Q_n$  = kapasitas tarik penghubung geser (*shear connector*)

Pada penampang komposit, posisi sumbu netral plastis akan dipengaruhi oleh nilai  $C$ . Sesudah garis netral plastis dari penampang transformasi didapat, maka momen inersia yakni  $I_{LB}$  dapat dihitung.

### **Kondisi 1, Garis Netral Plastis (GNP) Yang Berada Di Pelat Lantai Beton:**

Kondisi ini terjadi ketika nilai  $C$  dari hasil  $0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$  lebih besar dari hasil  $A_s \cdot F_y$

Untuk perhitungan momen nominal sebelum beton mengering:

$$M_n = F_y \cdot Z_x$$

Perhitungan di atas hanya digunakan untuk profil baja yang kompak, dimana bagian modulus plastis  $Z_x$ , dapat dihitung dengan

$$Z_x = \left(\frac{A}{2}\right) \cdot a$$

dengan

$$a = 2 \cdot \bar{y}$$

dan

$$\frac{\sum A \cdot y}{\sum A}$$

Keterangan:

$Z_x$  = bagian modulus plastis

$A$  = luas penampang profil baja

$a$  = lengan momen kopel tahanan dalam

$\bar{y}$  = titik berat setengah penampang atas

Kemudian untuk menghitung kedalaman distribusi tegangan tekan pada beton yakni:

$$a = \frac{C}{0,85f'_c b}$$

Lengan momen tahanan dalam adalah

$$y = \frac{d}{2} + t - \frac{a}{2}$$

Sehingga:

$$M_D = \phi_b M_n$$

$$M_D = \phi_b \cdot C \cdot y$$

### **Kondisi 2, Garis Netral Plastis (GNP) Yang Ada Di Profil Baja:**

Kondisi ini berkebalikan dengan kondisi 1, dimana kondisi ini terjadi ketika nilai  $C$  dari hasil  $0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$  lebih kecil dari hasil  $A_s \cdot F_y$

Perhitungan momen nominal sebelum beton mengering untuk penampang yang kompak sama seperti perhitungan kondisi 1, yakni:

$$M_n = F_y \cdot Z_x$$



Untuk mengkaji kasus ini, untuk langkah pertama harus ditentukan apakah GNP berada pada bagian atas sayap atau badan. Apabila garis netral plastis berada di bagian penampang bawah sayap, maka seluruh sayap akan mengalami gaya tekan. Cara mengidentifikasi garis GNP adalah dengan mencari nilai  $t'$  yang diturunkan dari persamaan gaya horisontal:

$$C + C_s - T = 0$$

$$C + F_y \cdot b_f t' - F_y \cdot (A_s - b_f \cdot t') = 0$$

Sehingga,

$$t' = \frac{F_y \cdot A_s - C}{b_f (F_y + 1)}$$

Jika  $t' < b_f$ , asumsi garis netral plastis (GNP) berada di sayap profil, sebaliknya jika  $t' > b_f$ , (GNP) asumsi garis netral berada di badan profil.

Resultan gaya tarik akan bekerja pada pusat penampang di bawah GNP. Untuk menghitung kuat momen, sebelumnya kita harus menentukan letak titik pusat penampang ini. Pada perhitungan tersebut, titik pusat penampang dilambangkan sebagai  $\tilde{y}$ , yakni jarak dari muka atas profil baja. Dengan pengertian lain,  $\tilde{y}$  adalah titik berat gabungan antara penampang baja dan segmen sayap baja.

Kemudian untuk menghitung kedalaman distribusi tegangan tekan pada beton yakni:

$$a = \frac{C}{0,85f'_c b}$$

Lengan momen untuk gaya tekan beton adalah

$$y_2 = t - \frac{a}{2}$$

Sedangkan lengan momen untuk gaya tarik baja

$$= \bar{y} - \frac{t'}{2}$$

Momen nominal menjadi:

$$M_n = C \text{ (lengan momen beton)} + C_s \text{ (lengan momen baja)}$$

$$M_D = \phi_b M_n$$

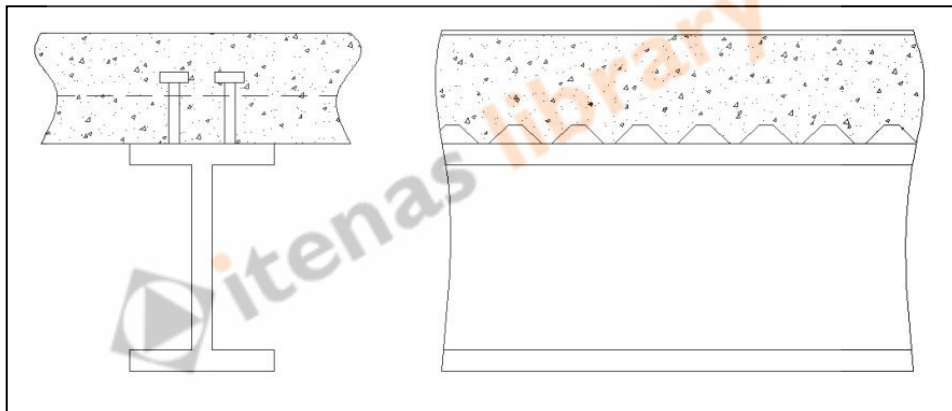
### 2.10 Kuat Geser Nominal Penampang

SNI secara konservatif memberikan bahwa semua geser ditahan pada badan profil baja. Kuat geser rencana  $\phi_v V_n$ , ditentukan berdasarkan kuat geser pelat pelat badan penampang baja

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

Dengan

$$A_w = (d - 2 \cdot t_f) \cdot t_w$$



**Gambar 2. 12** Penampang Komposit Dengan Penghubung Geser

Sumber: Sumiyanto. (2018)

### 2.11 Aksi Komposit Parsial

Aksi komposit parsial berlangsung ketika penghubung geser secara maksimum tidak mampu menahan gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan penampang baja. Salah satu dari kapasitas pada beton atau kapasitas pada baja dapat ditingkatkan dan gaya tekan dibatasi pada gaya maksimum yang dapat disalurkan pada daerah sepanjang permukaan antara baja dan beton yang mana merupakan kekuatan penghubung geser,  $\Sigma Q_n$ .

Pada balok komposit parsial, kapasitas balok dalam menahan lentur dibatasi oleh kapasitas penghubung geser. Perhitungan elastis untuk balok komposit, seperti pada perhitungan defleksi atau tegangan karena beban yang terjadi, perlu memperhitungkan pengaruh adanya geser antara penampang baja dan pelat beton.

Pada aksi komposit parsial, sumbu garis netral plastis akan terus-menerus berada pada penampang baja. Keadaan ini akan mengakibatkan analisis kapasitas manapun lebih rumit daripada yang sudah dipertimbangkan lebih dahulu yakni komposit penuh, tetapi aturan dasarnya sama.

Jika suatu analisis elastis harus dibuat, seperti halnya ketika menghitung lendutan, maka perkiraan momen inersia pada penampang komposit parsial perlu dihitung. Suatu peralihan parabolik dari  $I_s$  (untuk penampang baja profil) ke  $I_{tr}$  (untuk penampang komposit penuh) berfungsi dengan baik. Perhitungan tegangan elastis dan lendutan pada balok komposit parsial perlu mempertimbangkan pengaruh adanya gaya geser antara pelat beton dan penampang baja. Untuk perhitungan elastis ini, momen inersia efektif yang dinotasikan sebagai  $I_{ef}$  penampang komposit parsial dapat dihitung dengan cara berikut:

$$I_{ef} = I_s + (I_{tr} - I_s) \cdot \sqrt{\frac{\sum Q_n}{C_f}}$$

Keterangan:

$C_f$  = gaya tekan pada pelat beton untuk kondisi komposit penuh yaitu nilai terkecil dari  $A_s \cdot F_y$  atau  $0,85f'_c \cdot A_c$

$I_s$  = momen inersia pada penampang baja

$I_{tr}$  = momen inersia penampang balok komposit penuh saat keadaan belum hancur

$\sum Q_n$  = total kapasitas penghubung geser di sepanjang penampang yang dibatasi oleh momen positif maksimum dan momen nol.

Rasio  $\sum Q_n / C_f$  untuk penampang komposit parsial nilainya tidak diperbolehkan kurang dari 0,25. Batasan ini diberlakukan agar tidak terjadi kelebihan geser pada penampang balok.

## 2.12 Lendutan

Lendutan pada balok setelah komposit lebih kecil dibandingkan pada balok sebelum komposit dikarenakan momen inersia transformasi penampang setelah komposit sangat besar. Momen inersia yang lebih besar ini terjadi setelah pelat beton mengering. Perhitungan lendutan yang diakibatkan oleh beban luar sebelum beton mengering diperhitungkan dengan cara momen inersia pada profil baja saja. Suatu tambahan kompleksitas beban bertambah jika penampang komposit untuk beban yang menerus seperti beban partisi (bekisting) dimana keadaan setelah beton mengering. Pada daerah momen positif, pelat beton akan berperilaku tekan secara berkelanjutan dan akan beraksi dikarenakan pengaruh dari fenomena rangkai.

Pada saat pelaksanaan, konstruksi tanpa tiang perancah, ada 3 momen inersia yang dipertimbangkan guna menghitung lendutan untuk jangka waktu yang lama:

1. Pakai  $I_s$ , momen inersia untuk baja gilas (*hot rolled shape*) pada lendutan yang diakibatkan oleh beban sebelum beton mengering,
2. Pakai  $I_{LB}$ , batas bawah momen inersia pada penampang bertransformasi, diperhitungkan pada lendutan yang diakibatkan oleh beban hidup dan pada lendutan awal yang diakibatkan oleh beban mati yang terjadi setelah beton mengering,
3. Gunakan  $I_{LB}$  yang dihitung pada lendutan untuk jangka waktu yang lama yang diakibatkan oleh beban mati yang terjadi setelah beton mengering.

### 1. Lendutan sebelum beton mengering

Pengaruh beban mati:

$$\Delta_1 = \frac{5w_D L^4}{348 \cdot E \cdot I_s}$$

Pengaruh beban konstruksi:

$$\Delta_2 = \frac{5w_L L^4}{348 \cdot E \cdot I_s}$$

Sehingga perhitungan lendutan total sebelum beton mengering:

$$\Delta_{total} = \Delta_1 + \Delta_2$$

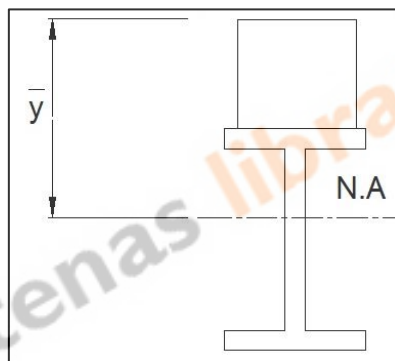
## 2. Lendutan setelah beton mengering

Untuk lendutan-lendutan setelah beton mengering, momen inersia dari dua penampang bertransformasi akan menggunakan  $I_{LB}$ . Maka luas pelat beton yang digunakan adalah

$$A_c = \frac{C}{F_y}$$

Sedangkan jarak dari atas profil baja ke titik berat pelat beton adalah

$$y_2 = t - \frac{a}{2}$$



**Gambar 2. 13** Penampang Transformasi

Sumber: Sumiyanto. (2018)

Penampang bertransformasi dapat dilihat pada **Gambar 2.13**, dimana perhitungan pusat massa dan momen inersia akan ditampilkan pada Bab 4. Momen inersia bertransformasi pada hitungan ini dinamai  $I_{LB}$  dan akan digunakan untuk menghitung **lendutan setelah beton mengering**, yang terdiri dari:

Pengaruh beban hidup:

$$\Delta_3 = \frac{5w_L L^4}{348 \cdot E \cdot I_{LB}}$$

Pengaruh beban mati tambahan:

$$\Delta_4 = \frac{5w_D L^4}{348 \cdot E \cdot I_{LB}}$$

Sehingga lendutan total menjadi:

$$\Delta_{total} = \Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4$$

### 2.13 Konstruksi Dengan Perancah dan Tanpa Perancah

Kekuatan beton sebelum mencapai 75% dari kekuatan tekan rencana maka tidak akan ada aksi perilaku komposit dan berat beton atau lantai harus ditahan oleh dukungan atau partisi lain. Ketika beton mencapai kekuatan maksimum yakni 28 hari, aksi komposit memungkinkan dan semua beban yang terjadi akan ditopang oleh penampang komposit. Jika baja ditahan pada titik-titik yang memenuhi di daerah sepanjang batangnya sebelum pelat beton dikerjakan atau dipasang, maka berat beton sebelum mengering akan ditahan oleh tiang perancah secara sementara dan tidak ditahan oleh penampang baja. Kemudian saat beton telah mengering yaitu 28 hari maka tiang perancah dapat dilepas dan berat dari pelat, beban-beban tambahan seperti konstruksi dan lain-lain akan ditahan oleh penampang komposit. Jika tiang perancah tidak digunakan, maka penampang baja harus mampu menahan bukan hanya berat sendiri saja, tetapi juga harus mampu menahan berat dari pelat dan tiang perancah selama masa sebelum beton mengering sampai dengan selama 28 hari. Ketika perilaku penampang komposit berjalan, beban tambahan, beban mati dan beban hidup akan ditahan oleh penampang komposit.

#### a. Tanpa Tiang Perancah: Sebelum Beton Mengering (28 hari)

Menurut SNI 03-1729-2015 mensyaratkan bahwa jika tiang perancah sementara tidak digunakan, maka profil baja harus mempunyai kapasitas untuk menahan beban yang bekerja sebelum beton mencapai kekuatan 75% dari kuat tekannya ( $f_c'$ ). Perhitungan kuat lentur berdasar pada ketentuan bab 8 (*Steel Segui*). Tergantung pada perancangan, tiang perancah untuk pelat beton bisa atau tidak tersedia untuk penahan lateral pada penampang baja. Apabila tidak dapat digunakan, maka panjang *unbraced*  $L_b$  harus dipertimbangkan dan perlu ada kontrol LTB terhadap kekuatan lentur. Jika tiang perancah sementara tidak dipakai, maka penampang baja perlu juga menopang beban konstruksi.

#### b. Tanpa Tiang Perancah: Setelah Beton Mengering (28 hari)

Setelah perilaku komposit terpenuhi, semua beban yang terjadi akan ditopang oleh penampang komposit. Pada keadaan batas kehancuran, semua beban akan ditopang oleh kopel internal yang berhubungan dengan penyaluran tegangan ketika sampai pada saat kehancuran sehingga penampang komposit perlu cukup kuat menopang seluruh beban kerja termasuk penampang baja sebelum beton mengering.

### c. Konstruksi dengan Tiang Perancah

Pada saat pelaksanaan konstruksi dengan tiang perancah, hanya penampang komposit yang dipertimbangkan karena penampang baja tidak akan diperhitungkan untuk mendukung beban-beban lainnya selain daripada berat sendiri penampang baja tersebut.

#### 2.14 Kapasitas Penghubung Geser

Seperti yang telah diketahui bahwa gaya geser horisontal yang disalurkan antara pelat beton dan penampang baja sama dengan gaya tekan pada beton yakni  $C$ . Gaya geser horisontal dinotasikan sebagai  $V'$ . Dimana  $V'$  dipilih nilai yang terkecil dari  $A_s \cdot F_y$ ,  $0,85 \cdot f_c' \cdot A_c$  atau  $\Sigma Q_n$ . Jika  $A_s \cdot F_y$  atau  $0,85 \cdot f_c' \cdot A_c$  sebagai pengontrol, maka aksi komposit maksimum akan terjadi dan jumlah penghubung geser yang diperlukan antara titik momen nol dan momen maksimum adalah

$$N = \frac{V'}{Q_n}$$

$Q_n$  ialah kuat geser nominal pada satu penghubung geser. Sebanyak  $N$  penghubung geser biasanya dipasang seragam pada jarak yang sudah diperhitungkan.

#### 1. Kekuatan penghubung geser jenis paku

SNI memberikan persamaan untuk persyaratan kuat geser penghubung pada jenis ini. Kapasitas perlu satu penghubung geser jenis tersebut yang dipasang pada pelat beton ialah

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{E_c}} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sc} \cdot F_u$$

Keterangan:

- $A_{sa}$  = luas penampang penghubung geser jenis paku (*stud*)
- $F_u$  = tegangan putus penghubung geser jenis paku
- $Q_n$  = kuat nominal geser pada penghubung geser
- $f'_c$  = kuat tekan beton
- $E_c$  = modulus elastis beton

Beberapa persyaratan yang diperlukan untuk penghubung geser adalah:

1. Kebutuhan penghubung geser perlu memiliki selimut beton untuk arah horisontal setebal 25 mm, terkecuali pada *shear connector* yang dipasang untuk dek baja bergelombang. Hal ini berlaku untuk semua model penghubung geser.
2. Untuk penghubung geser jenis paku (*stud*) :
  - a. Diameter maksimum = 2,5 x tebal pelat sayap penampang yang mana penghubung geser jenis paku tersebut dipasang dengan cara dilas,
  - b. Jarak minimal antar penghubung geser = 6 x diameter stud dipasang arah longitudinal pada penampang balok,
  - c. Jarak minimal antar penghubung geser = 4 x diameter stud dipasang tegak lurus arah longitudinal atau arah transversal pada balok penahan. Pada area di antara gelombang-gelombang dek baja, jarak minimum antar penghubung geser tersebut dapat diperkecil menjadi 4 x diameter terhadap semua arah
  - d. Jarak maksimum antar penghubung geser = 8 x tebal total pelat.

## 2.15 Pembebanan

Berat sendiri struktur dan komponen struktur disebut sebagai beban mati (*dead load*). Selain dari beban mati, struktur dipengaruhi pula oleh beban-beban yang ada akibat penggunaan ruangan. Beban ini disebut sebagai beban hidup (*live load*). Selain itu struktur dipengaruhi pula oleh dampak-dampak dari luar yang



berasal dari kondisi-kondisi alam seperti akibat dari angin, gempa, salju atau dipengaruhi oleh perbedaan suhu, serta keadaan lingkungan yang sifatnya merusak seperti dampak dari kelembaban, bahan kimia, atau korosi.

Saat sedang meninjau suatu beban, tidak dapat ditentukan dari besaran atau intensitasnya saja, tetapi juga harus meninjau dalam keadaan bagaimana beban tersebut diaplikasikan pada struktur.

Keterkaitan dengan sifat elastisi di antara material struktur, setiap komposisi atau elemen struktur akan berdeformasi jika diberi beban dan akan kembali kepada bentuk seperti semula jika beban-beban yang bekerja diadakan. Oleh karena itu struktur mempunyai indikasi untuk bergoyang ke kanan dan ke kiri (*sidesway*) atau mengalami defleksi jika diberi beban.

Waktu yang dibutuhkan struktur untuk melakukan satu getaran penuh disebut periode getar atau disebut juga waktu getar struktur. Suatu struktur biasanya memiliki sejumlah periode getar, yang mana periode getar yang terpanjang disebut periode dasar atau periode alami (*fundamental period*). Secara umum, bangunan-bangunan struktural memiliki nilai kaku horisontal yang bermacam-macam, sehingga memiliki periode getar yang berbeda-beda pula.

Adapun jenis-jenis beban pada struktur bangunan antara lain:

#### 1. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu (PPPURG 1983). Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727-2013).

Dalam mendesain berat dari beban mati ini perlu dipertimbangkan guna perhitungan dalam analisa. Berat dan dimensi dari elemen struktur tidak dapat diketahui sebelum analisa struktur selesai dianalisa. Berat-berat yang ditentukan

dari analisa struktur perlu dibandingkan dengan berat taksiran awal. Jika perbedaannya terlalu besar, perlu dilakukan kembali analisa ulang dengan menggunakan taksiran berat agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

## 2. Beban Hidup

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727-2013).

Beban hidup juga dapat diartikan sebagai semua beban yang sifatnya dinamis, atau beban yang sifatnya sementara yang ditempatkan di suatu kondisi tertentu. Sebagai contoh seperti beban kendaraan pada area parkir, manusia, dinding partisi, kelengkapan meja atau kursi pada kantor, beban air yang ada pada kolam renang, beban air pada tangki dan lain sebagainya.

Beban hidup yang dipakai dalam merancang bangunan gedung dan struktur lainnya haruslah beban ultimit yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, yang mana tidak boleh kurang dari beban merata minimal.

## 3. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan diartikan sebagai beban mati yang disebabkan karena berat dari elemen-elemen tambahan atau *finishing* yang sifatnya tetap. Contoh beban tambahan seperti pasir, plafon, spesi, bekisting, keramik, mekanikal elektrik, penggantung dan lain-lain.

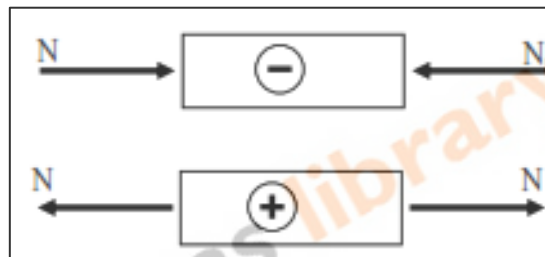
### 2.16 Perjanjian Tanda Gaya Dalam

Untuk menganalisa struktur dibutuhkan suatu perjanjian tanda, yang mana hal ini sangat penting karena berpengaruh pada struktur yang akan dihitung. Perjanjian tanda pada umumnya terbagi atas 2 yaitu sifatnya sementara dan sifatnya permanen, hal tersebut sudah menjadi perjanjian yang sudah disepakati secara lazim. Untuk perjanjian sementara kebanyakan digunakan pada perhitungan reaksi

perletakan, sedangkan pada perjanjian tanda yang permanen kebanyakan digunakan pada perhitungan gaya dalam.

Karena membutuhkan akurasi yang tinggi dalam perhitungan, oleh karena itu digunakan satu sistem perjanjian tanda yakni:

1. Gaya Normal adalah gaya yang bekerja sejajar penampang dan titik pusat kerja gaya pada titik berat penampang dimana gaya itu bekerja. Gaya ini dapat disebut juga sebagai gaya aksial. Gaya ini kebanyakan dilambangkan N dan satuannya adalah kilogram (kg). Perjanjian tanda untuk gaya normal yakni bertanda positif jika gaya normal tersebut menarik bidang, sedangkan gaya normal bertanda negatif jika gaya normal tersebut menekan bidang.



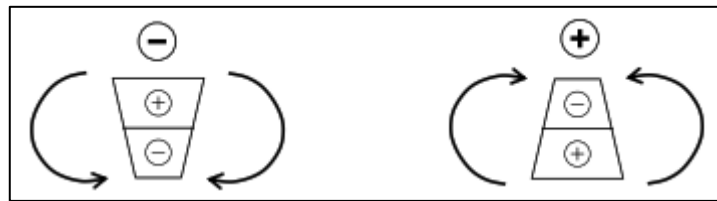
**Gambar 2. 14** Perjanjian Tanda Gaya Normal

2. Gaya lintang adalah gaya yang bekerja tegak lurus dengan gaya normal atau tegak lurus penampang melintang komponen struktur dimana gaya tersebut berada. Gaya ini biasanya dilambangkan dengan lambang Q dan memiliki satuan kilogram (kg). Perjanjian tanda untuk gaya lintang yakni bertanda positif jika gaya lintang menekan bidang yang kemudian bila diputar terhadap *freebody* akan searah jarum jam, sedangkan gaya lintang akan bertanda negatif jika gaya lintang menekan bidang yang kemudian bila diputar terhadap *freebody* akan berlawanan dengan arah jarum jam.



**Gambar 2. 15** Perjanjian Tanda Gaya Lintang

3. Momen adalah perkalian gaya dengan jarak. Jarak terpendek adalah jarak yang tegak lurus terhadap sepanjang garis gaya. Momen biasanya disimbolkan dengan huruf  $M$  dan satuannya adalah kilogram-meter (kg.m). Perjanjian tanda untuk momen yakni momen akan bertanda positif jika melentur ke atas (serat bawah tertarik dan serat atas tertekan), sedangkan momen akan bertanda negatif jika melentur ke bawah (serat bawah tertekan dan serat atas tertarik).



Gambar 2. 16 Perjanjian Tanda Momen

itenas library