

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sebuah struktur harus mampu menahan semua beban yang diberikan pada struktur tersebut secara efisien dan aman. Beban struktural merupakan hasil dari gaya-gaya natural. Bahan-bahan yang umum digunakan dalam konstruksi beton, baja dan kayu dibuat menjadi elemen-elemen struktural seperti balok, kolom, pelat, lengkungan dan rangka batang. Elemen struktural tersebut harus disusun menjadi bentuk-bentuk struktural yang terbaik yang dapat berfungsi sebagai suatu struktur, namun tetap aman menahan semua beban (*Dishongh, 2003*).

Perencanaan adalah bagian yang penting dari pembangunan suatu gedung atau bangunan lainnya. Perencanaan dari suatu konstruksi bangunan harus memenuhi berbagai syarat konstruksi yang telah ditentukan yaitu :

a. Kuat

Struktur gedung atau konstruksi lainnya harus direncanakan kekuatan batasnya terhadap pembebanan.

b. Kokoh

Struktur gedung harus direncanakan agar deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi tidak melebihi deformasi yang telah ditentukan.

c. Ekonomis

Konstruksi yang dibangun harus dibuat dengan biaya semurah mungkin dan disesuaikan dengan biaya yang ada tanpa mengurangi mutu dan kekuatan bangunan.

d. Artistik (Estetika)

Konstruksi yang dibangun harus memperhatikan nilai-nilai keindahan, tata letak dan bentuk sehingga setiap orang yang menempatinnya akan merasa aman dan nyaman.

Penelitian yang dilakukan oleh Rebekka Rosalia Silalahi (2014) tentang analisa perbandingan pelat *hollow core slab* terhadap pelat konvensional dengan beban hidup yang variatif. Dimana analisis yang dibahas adalah perhitungan perencanaan pelat *hollow core slab* dan pelat konvensional yang aman terhadap momen dan lendutan akibat beban hidup yang bervariasi serta membahas masalah biayanya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Umum

Pelat merupakan suatu elemen struktur yang mempunyai ketebalan relatif kecil jika dibandingkan dengan lebar dan panjangnya. Di dalam konstruksi beton, pelat digunakan untuk mendapatkan bidang atau permukaan yang rata. Pada umumnya bidang atau permukaan atas dan bawah suatu pelat adalah sejajar atau hampir sejajar. Tumpuan pelat pada umumnya dapat berupa balok-balok beton bertulang, struktur baja, kolom-kolom dan dapat juga berupa tumpuan langsung di atas tanah. Pelat dapat ditumpu pada tumpuan garis menerus, seperti halnya dinding atau balok, tetapi dapat juga ditumpu secara lokal.

Pelat beton bertulang banyak digunakan pada bangunan sipil, baik sebagai lantai bangunan, lantai atap dari suatu gedung, lantai jembatan maupun lantai pada dermaga. Beban yang bekerja pada pelat umumnya diperhitungkan terhadap beban gravitasi (beban mati dan atau beban hidup). Menurut Dipohusodo (1996), beban tersebut mengakibatkan terjadi momen lentur (seperti pada kasus balok).

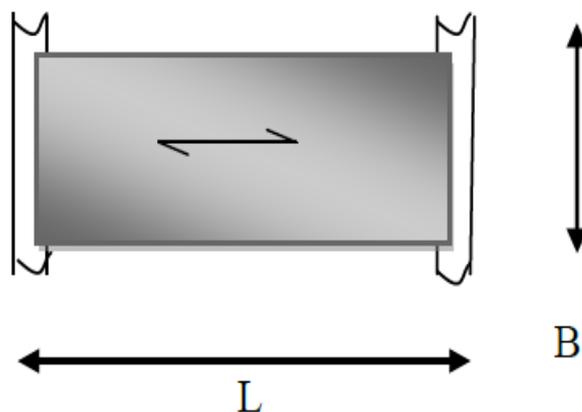
2.2.2 Jenis – Jenis Pelat

Berdasarkan geometrinya pelat dibagi menjadi dua, yaitu :

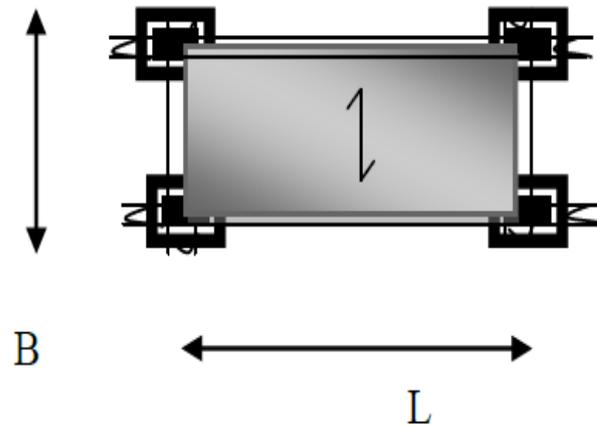
1. Pelat Satu Arah (*one way slab*)

Pelat satu arah adalah pelat yang ditumpu hanya pada kedua sisinya yang berlawanan saja dan beban-beban ditahan oleh pelat dalam arah yang tegak lurus terhadap balok-balok penunjang (Dipohusodo, 1996). Pelat persegi panjang dapat dibedakan berdasarkan kondisi perletakkannya dan perbandingan panjang dengan lebar pelatnya (L_y/L_x), yaitu :

- a. Pelat persegi panjang yang hanya dipikul di kedua tepi yang berseberangan adalah pelat satu arah yang bertumpu ke arah tegak lurus tepinya. Pelat ini sering disebut sebagai pelat silindris karena pelat hanya melengkung pada satu arah.
- b. Pelat persegi panjang yang disokong di keempat tepinya dan memiliki perbandingan panjang (L_y) dengan lebar (L_x) lebih besar atau sama dengan dua disebut pelat satu arah. Pelat ini bertumpu searah bentangan yang terpendek.



Gambar 2.1 Pelat disokong di dua tepi

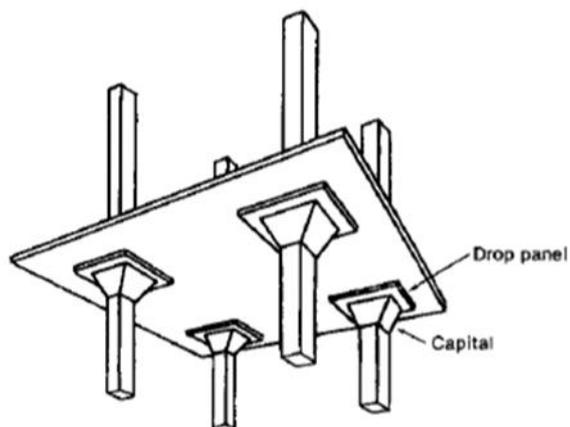


Gambar 2.2 Pelat disokong di empat tepi ($L_y/L_x > 2$)

2. Pelat Dua Arah (*two way slab*)

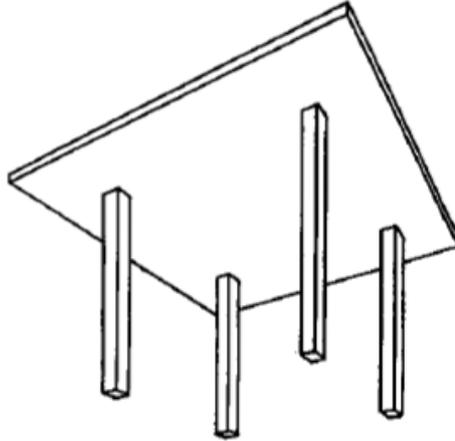
Ketika pelat disokong di keempat tepinya dan perbandingan panjang (L_y) dengan lebar (L_x) kurang dari dua maka pelat tersebut tergolong kepada pelat dua arah. Pelat persegi panjang dibedakan atas :

- a. *Flat slab* : pelat yang tidak memiliki balok diantara kolom-kolomnya namun memiliki *drop panels* atau pembesaran pada ujung kolom.



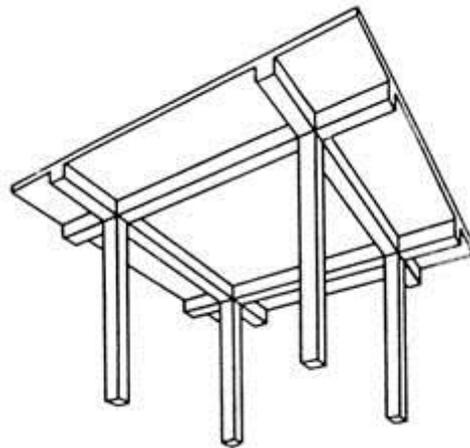
Gambar 2.3 *Flat Slab*

- b. *Flat plates* atau pelat rata : pelat yang tidak memiliki balok-balok maupun *drop panels* di antara kolom-kolomnya.



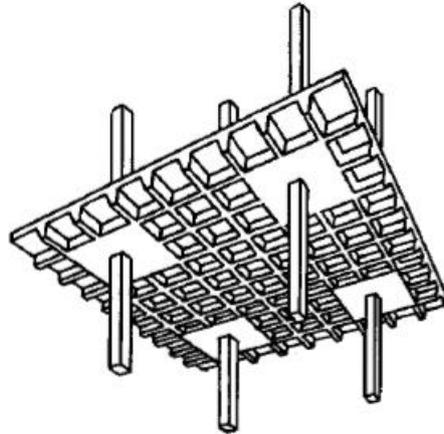
Gambar 2.4 *Flat Plate Slab*

- c. Pelat dua arah dengan kolom : yaitu pelat yang memiliki balok diantar kolom-kolomnya. Jika baloknya lebar dan tipis maka dihubungkan sebagai gabungan balok-balok.



Gambar 2.5 Pelat dua arah dengan kolom dan balok

- d. *Waffle slab* : pelat yang memiliki rusuk-rusuk di arah bentang panjang maupun bentang pendek pelat. Pelat jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi dengan bentang yang sangat panjang.

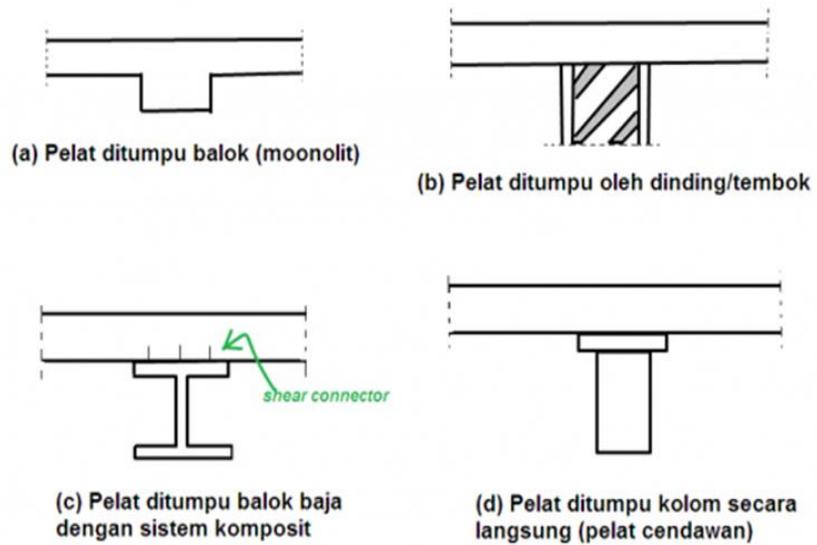


Gambar 2.6 *Waffle Slab*

2.2.3 Tumpuan Pada Pelat

Perencanaan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan saja, tetapi juga jenis perletakan dan jenis penghubung di tempat tumpuan. Kekakuan hubungan antar pelat dan tumpuan akan menentukan besar momen lentur yang terjadi pada pelat.

Untuk bangunan gedung, umumnya pelat ditumpu oleh balok-balok secara monolit, yaitu pelat dan balok dicor bersama-sama sehingga menjadi satu-kesatuan (a) atau ditumpu oleh dinding-dinding bangunan seperti pada gambar (b). Kemungkinan lainnya, yaitu pelat didukung oleh balok-balok baja dengan sistem komposit (c), atau didukung oleh kolom secara langsung tanpa balok, yang dikenal dengan pelat cendawan, seperti pada gambar (d).



Gambar 2.7 Tumpuan Pelat

2.2.4 Metode Pekerjaan Pelat Lantai

2.2.4.1 Struktur Pelat Konvensional

Pelat konvensional merupakan pelat beton bertulang yang banyak digunakan sebagai pelat lantai maupun pelat atap gedung, lantai jembatan maupun lantai dermaga. Beban yang bekerja pada umumnya diperhitungkan terhadap gravitasi yaitu beban mati dan beban hidup. Beban tersebut mengakibatkan momen lentur sehingga pelat direncanakan terhadap beban lentur seperti pada kasus balok.



Gambar 2.8 Ilustrasi Struktur Pelat Lantai Konvensional

Beberapa kelebihan pelat lantai metode konvensional yaitu :

1. Mudah dan umum dalam pengerjaan di lapangan.
2. Mudah dibentuk dalam berbagai penampang.
3. Perhitungan relatif mudah dan umum.
4. Sambungan balok, kolom dan plat lantai bersifat monolit (terikat penuh).

Beberapa kekurangan pelat lantai metode konvensional yaitu :

1. Diperlukan tenaga buruh lebih banyak, relatif lebih mahal.
2. Pemakaian bekisting relatif lebih banyak.
3. Pekerjaan dalam pembangunan agak lama karena pengerjaannya saling berurutan tergantung dengan pekerjaan lainnya.

2.2.4.2 Struktur Pelat *Half-Slab*

Half-slab adalah pelat yang menggunakan beton pracetak sebagai dasarnya dan beton konvensional sebagai topping/penutup. Ada dua macam tipe *half-slab*, yaitu *half-slab* dengan beton pracetak rata (*flat*) dan *half-slab* dengan beton pracetak bergerigi. Penggunaan gerigi ini bertujuan agar ikatan antara beton konvensional dan beton pracetak lebih kuat.



Gambar 2.9 Ilustrasi Struktur Pelat Lantai *Half-Slab*

Beberapa kekurangan pelat lantai metode *half-slab* yaitu :

1. Sulit diaplikasikan pada area tepi gedung (plat kantilever), sehingga pada area ini bisa menggunakan sistem konvensional.
2. Perlu trik khusus jika digunakan pada area toilet atau atap gedung agar tidak mengalami kebocoran.
3. Jika proyek berada di perkotaan, maka ada peraturan lalu lintas yang harus dipatuhi, waktu pengiriman dengan kendaraan besar biasanya hanya boleh dilakukan pada malam hari agar tidak menyebabkan kemacetan lalu lintas.
4. Keterbatasan kapasitas berat angkut TC perlu diperhitungkan dengan beban satu plat *half-slab* yang akan diangkat.
5. Mengurangi lapangan kerja tukang bekisting, mudah-mudahan bisa mendapat pekerjaan lain yang lebih baik.

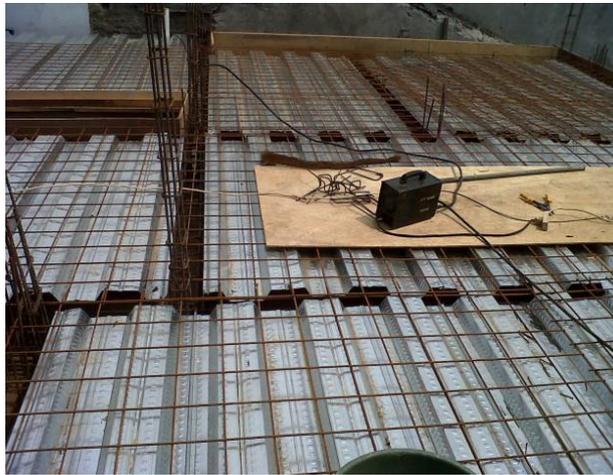
Beberapa kelebihan pelat lantai metode *half-slab* yaitu :

1. Waktu pengerjaan lebih cepat dibanding plat lantai sistem konvensional, namun jika produksi plat half slab berada dilokasi terpisah dengan proyek maka perlu dipastikan

- ketepatan jadwal pengirimannya agar pekerjaan dapat berjalan secara kontinyu.
2. Efisiensi pemakaian material bekisting, bisa menghilangkan penggunaan kayu.
 3. Karena tidak menggunakan kayu maka telah melaksanakan program *green building* yang tidak merusak lingkungan.

2.2.4.3 Struktur Pelat Komposit Bondek

Struktur pelat komposit bondek adalah metode pelat lantai yang mengganti tulangan bawah pelat dengan menggunakan pelat bondek. Hal ini dimaksudkan untuk menghemat pengadaan tulangan baja dan material bangunan yang dibutuhkan untuk membuat bekisting di bawahnya. Sedangkan pada tulangan atas dapat dibuat berupa batangan atau diganti besi *wiremesh* agar pembangunannya lebih efisien.



Gambar 2.10 Ilustrasi Pelat Komposit Bondek

Beberapa kekurangan pelat komposit bondek yaitu :

1. Tidak bisa diterapkan pada sisi tepi gedung (pelat lantai kantilever).
2. Perlu pengaturan yang bagus agar tidak banyak sisa material bondek terbang.

3. Harga bondek sangat terpengaruh dengan perkembangan baja, jadi perlu dihitung segi efisiensinya jika dibandingkan dengan menggunakan bekisting *ply wood*.

Beberapa kelebihan pelat komposit bondek yaitu :

1. Penghematan bekisting lantai karena plat bondek sekaligus berfungsi sebagai *form work*.
2. Tidak menggunakan besi tulangan bagian bawah karena fungsinya sudah digantikan oleh bondek.
3. Pengerjaan lebih cepat dan murah jika dibanding dengan sistem konvensional.
4. Bagian bawah plat lantai terjamin rapi, karena jika menggunakan sistem konvensional dengan bekisting *plywood* maka ada resiko beton keropos, retak atau ngeplin sehingga memerlukan pekerjaan perapihan.
5. Plat bondek masih aman jika terkena kebakaran.
6. Plat bondek anti karat sehingga bisa bertahan lama.

2.3 Analisis Struktur Pelat Lantai

2.3.1 Analisis Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Menentukan batasan tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan sebagai berikut :

Menentukan :

$$d = h - d' - \frac{3\phi_t}{2} \quad (2.1)$$

Dengan syarat :

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \beta \frac{600}{600+f_y} \quad (2.2)$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y x j x d} \quad (2.3)$$

$$A_{sD} = \frac{\pi x D^2}{4} \quad (2.4)$$

$$n = \frac{As}{As_D} \quad (2.5)$$

$$s = \frac{b}{n} \quad (2.6)$$

Keterangan :

d = Tinggi efektif

h = Tebal pelat

\emptyset_t = Diameter tulangan

f'_c = Mutu beton

f_y = Mutu baja

As = Luas tulangan

ρ = Rasio penulangan

n = Jumlah tulangan

s = jarak tulangan

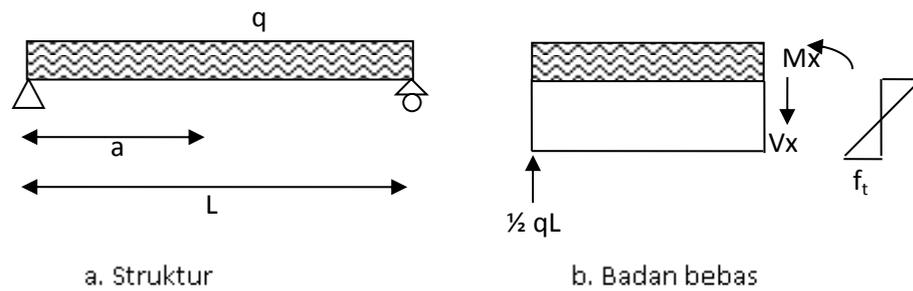
M_u = Momen terfaktor (*ultimate*)

2.3.2 Analisis Terhadap Geser

Geser dijumpai hampir di dalam semua unsur struktur beton bertulang. Efek geser umumnya terjadi secara bersamaan dengan efek dari gaya-gaya lain seperti lentur, normal dan torsi. Dengan demikian untuk menyelidiki perilaku unsur struktural di dalam geser, hampir selalu dibutuhkan penyelidikan dari interaksinya dengan aksi-aksi yang tersebut di atas. Inilah salah satu sebab mengapa kemajuan dari penelitian perilaku geser tidak begitu pesat perkembangannya dibandingkan dengan perilaku terhadap aksi-aksi lainnya.

2.3.2.1 Retak Geser Potensial

Peninjauan suatu balok di atas dua perletakan yang memikul beban merata seperti terlihat di dalam gambar



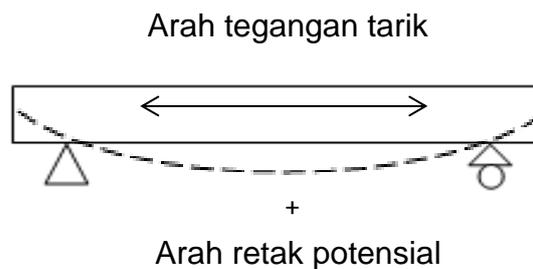
Gambar 2.11 Gaya Lintang dan Momen

Keseimbangan badan bebas pada Gambar 2.11.b mensyaratkan :

$$V_x = \frac{1}{2} qL - qa \quad (2.7)$$

$$M_x = \frac{1}{2} qL \times L \quad (2.8)$$

Selanjutnya pada daerah tarik di bawah garis netral, momen M_x dan gaya lintang (geser) V_x akan menimbulkan masing-masing tegangan tarik (f_t) dan geser (V). Dengan cara keseimbangan, dapat dicari tegangan tarik dan geser pada bidang yang membentuk sudut α .



Gambar 2.12 Arah Tegangan Tarik dan Retak Potensial dengan Lentur Dan Geser

2.3.2.2 Kekuatan Geser Nominal (SNI 03-2847-2013)

Perencanaan penampang akibat geser harus didasarkan pada rumus :

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.9)$$

Keterangan :

V_u = gaya geser berfaktor pada penampang yang ditinjau

ϕ = faktor reduksi kekuatan

V_n = kuat geser nominal

Kuat geser nominal dari penampang beton bertulang bisa dihitung dengan rumus :

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.10)$$

Keterangan :

V_c = kuat geser nominal dari beton

V_s = kuat geser nominal dari tulangan geser

Untuk komponen struktur non pratekan, penampang yang jaraknya kurang dari d dari muka tumpuan dapat dirancang terhadap gaya geser yang sama dengan yang didapat pada titik sejarak d (SNI 03-2847-2013).

2.3.2.3 Analisis Kekuatan Beton Menahan Geser V_c (SNI 03-2847-2013)

Untuk struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja, kuat geser beton bisa dihitung dengan :

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.11)$$

Keterangan :

V_c = kemampuan beton menahan geser (N)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

b_w = lebar (mm)

d = tinggi efektif (mm)

λ = faktor modifikasi

Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial :

$$V_c = 0.17 + \left[1 + \frac{Nu}{14 Ag} \right] \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.12)$$

Keterangan :

V_c = kemampuan beton menahan geser (N)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

b_w = lebar (mm)

d = tinggi efektif (mm)

λ = faktor modifikasi

$\frac{Nu}{Ag}$ = Dinyatakan dalam MPa

Untuk komponen struktur yang dikenai tarik aksial yang cukup besar, kekuatan geser V_c harus diambil sama dengan nol kecuali dengan perhitungan yang lebih rinci dengan persamaan berikut.

Untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja, kuat geser dihitung dengan :

$$V_c = \left[0.16 \lambda \sqrt{f'_c} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right] b_w d \quad (2.13)$$

Tetapi tidak lebih besar dari $0.29 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$. Dalam menghitung V_c dengan persamaan (2.7), $V_u d / M_u$ tidak boleh diambil lebih dari

1, dimana M_u terjadi serentak dengan V_u pada penampang yang ditinjau.

Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial, V_c boleh dihitung dengan persamaan (2.7) dengan M_m menggantikan M_u dan $V_u d/M_u$ selanjutnya tidak dibatasi dengan 1.0, dimana :

$$M_m = M_u - N_u \frac{(4h-d)}{8} \quad (2.14)$$

Akan tetapi, V_c tidak boleh diambil lebih besar dari :

$$V_c = 0.29 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \sqrt{1 + \frac{0.29 Nu}{Ag}} \quad (2.15)$$

Keterangan :

V_c = kemampuan beton menahan geser (N)

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

b_w = lebar (mm)

d = tinggi efektif (mm)

λ = faktor modifikasi

$\frac{Nu}{Ag}$ = Dinyatakan dalam MPa

Untuk komponen struktur yang dikenai tarik aksial yang besar :

$$V_c = 0.17 \left[1 + \frac{0.29 Nu}{Ag} \right] \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \quad (2.16)$$

Keterangan :

V_c = kemampuan beton menahan geser (N)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

b_w = lebar (mm)

d = tinggi efektif (mm)

λ = faktor modifikasi

$\frac{Nu}{Ag}$ = Dinyatakan dalam MPa

Untuk komponen struktur bulat, luas yang digunakan untuk menghitung V_c harus diambil sebagai hasil kali diameter dan tinggi efektif penampang beton. d boleh diambil sebesar 0.8 kali diameter penampang beton (SNI 03-2847-2013).

2.3.3 Analisis Terhadap Lendutan (SNI 03-2847-2013)

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekuatan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

Apabila lendutan harus dihitung maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metode atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur. Lendutan pada struktur terjadi akibat rangkakan pada beton. Lendutan yang terjadi pada struktur harus dikontrol terhadap tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Batas Lendutan Maksimum (SNI 03-2847-2013)

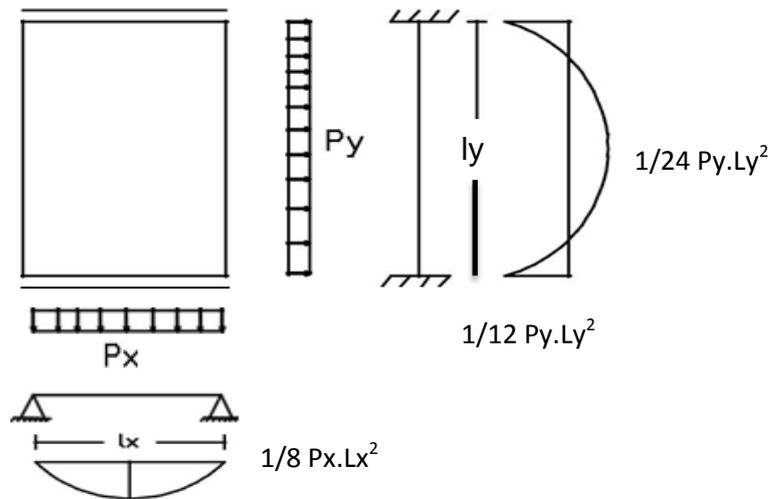
Tipe Struktur	Lendutan yang Diperhitungkan	Batas Ijin Lendutan
Atap datar yang tidak ditumpu untuk elemen nonstruktur yang mungkin dapat dihancurkan oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{1}{180}$
Lantai yang tidak ditumpu untuk elemen nonstruktur yang mungkin dapat dihancurkan oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{1}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang ditumpu untuk elemen nonstruktur yang mungkin dapat dihancurkan oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah ditumpu oleh bagian nonstruktural (lendutan total akibat	$\frac{1}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang ditumpu untuk elemen nonstruktur yang tidak mungkin dapat dihancurkan oleh lendutan yang besar	semua beban yang bekerja, lendutan seketika akibat penambahan beban hidup)	$\frac{1}{240}$

Perhitungan gaya dalam pada pelat dua arah dapat menggunakan metode Hirschfeld yaitu metode pendekatan pelat seperti balok. Dimana prinsip pada metode ini yaitu momen pada pelat didistribusikan ke arah x dan y pelat dan bentang terpendek pelat dianggap memikul momen terbesar.

Dimana berlaku :

$$P_x = K * P \quad (2.17)$$

$$P_y = (1-K) * P \quad (2.18)$$



Tabel 2.2 Nilai “K” Berdasarkan Tumpuan Pelat (Hake & Meskouris, 2007)

Tipe Tumpuan						
K	$\frac{\varepsilon^4}{1 + \varepsilon^4}$	$\frac{2\varepsilon^4}{5 + 2\varepsilon^4}$	$\frac{\varepsilon^4}{5 + \varepsilon^4}$	$\frac{\varepsilon^4}{1 + \varepsilon^4}$	$\frac{2\varepsilon^4}{1 + 2\varepsilon^4}$	$\frac{\varepsilon^4}{1 + \varepsilon^4}$

Keterangan :

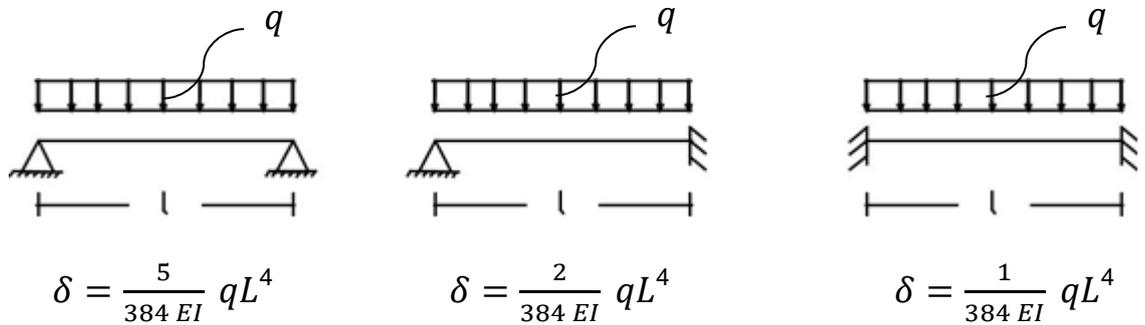
P = Beban pelat

K = Konstanta pembagi beban (lihat tabel 2.2)

L = Panjang bentang

$$\varepsilon = \frac{l_y}{l_x} \quad (2.19)$$

Lendutan ditentukan berdasarkan tumpuannya :



Gambar 2.13 Persamaan Lendutan dengan Berbagai Perletakan

Keterangan :

E = Modulus elastisitas

I = Momen inersia

q = Beban terfaktor

L = Panjang bentang