

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Pelat Lantai

Menurut Ervianto (2006) Pelat lantai merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut sehingga pada bangunan gedung pelat ini berfungsi sebagai diafragma atau unsur pengaku horizontal yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaran balok portal. Dalam perencanaannya, pelat lantai harus dibuat rata, kaku dan lurus agar pengguna gedung dapat dengan mantap memijakan kakinya. Hal-hal yang diperhitungkan mencakup beban tetap saja yang bekerja dalam waktu yang lama. Hal lain seperti beban tak terduga gempa, angin, getaran, dll. tidak diperhitungkan.

Pelat lantai dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat lantai satu arah hanya ditumpu pada kedua sisi yang berseberangan dan memiliki bentang panjang (l_y) dua kali atau lebih besar dari pada bentang pendek (l_x). Sedangkan pelat dua arah ditumpu oleh balok pada kedua sisinya dan perbandingan antara bentang panjangnya (l_y) dan bentang pendeknya (l_x) kurang dari dua.

Adapun syarat teknis dan ekonomis yang harus dipenuhi oleh lantai antara lain :

- Lantai harus memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul beban kerja yang ada di atasnya.
- Lantai harus dikaitkan pada dinding sedemikian rupa sehingga mencegah dinding melentur.
- Lantai harus mempunyai massa yang cukup untuk meredam gema suara.
- Konstruksi lantai harus sedemikian rupa sehingga setelah umur pemakaian yang cukup panjang tidak kehilangan kekuatan.

Adapun metode yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah metode konvensional, Hollow Core Slab (HCS) dan Pelat Bonded.

2.1.1 Pelat Konvensional

Sistem konvensional adalah sistem pengecoran yang dilakukan di tempat proyek/lapangan. Metode konvensional yang digunakan salah satunya yaitu struktur pelat lantai yang dikerjakan ditempat pengecoran langsung yang mencakup keseluruhan dengan menggunakan plywood sebagai bekisting dan scaffolding sebagai perancah. Metode ini terbilang kuno dan paling banyak digunakan namun dapat memakan biaya yang tinggi dan waktu yang lama (Ervianto, 2006).

2.1.2 Pelat Pracetak Segmental

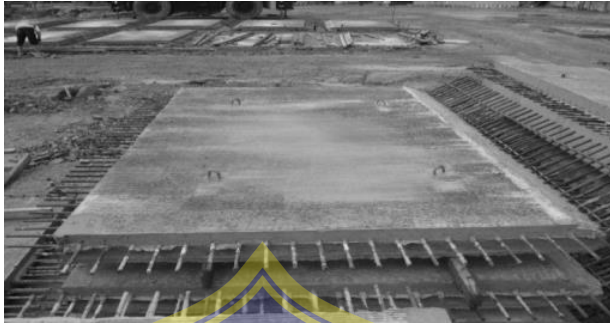
Beton Pracetak Segmental adalah Elemen atau komponen beton yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan atau komponen struktur lentur beton yang dibuat secara pracetak atau yang dicor di tempat, yang masing-masing bagian komponennya dibuat secara terpisah, tetapi saling dihubungkan sedemikian hingga semua bagian komponen bereaksi terhadap beban kerja sebagai suatu kesatuan.

1. Halfslab

Menurut Ervianto (2006) pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (off site fabrication). komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (pre-assembly) dan selanjutnya dipasang di lokasi (installation).

Berdasarkan penelitian Minehiro Nishiyama tentang Precast Concrete Research, Design, and Construction in Japan yang mengacu pada AIJ standard bahwa detail untuk penulangan dan tebal pelat adalah sebagai berikut:

1. Rasio perkuatan minimal adalah 0,2% untuk pelat precast dan topping.
2. Tebal minimal untuk total tebal pelat adalah 80 mm.
3. Tebal minimal untuk pelat topping adalah 50 mm dan untuk precast slab 30 mm.

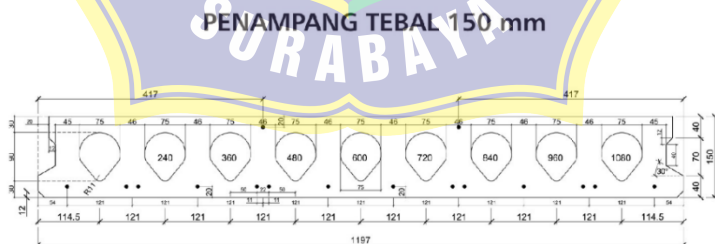


Gambar 2.1 Produksi Pelat Halfslab

Sumber : Google

2. Pelat Hollow Core Slab (HCS)

Sistem pracetak pelat Hollow Core Slab menggunakan sistem pre-tensioning (prategang) dimana kabel prategang ditarik terlebih dahulu pada suatu kedudukan khusus yang telah disiapkan dan kemudian dilakukan pengecoran. Oleh karena itu pembuatan produk precetak ini harus ditempat fabrikasi khusus yang menyediakan kedudukan yang dimaksud. Adanya lobang dibagian tengah pelat secara efektif mengurangi berat sendirinya tanpa mengurangi kapasitas lenturnya. Jadi precast ini relatif ringan dibanding solid slab bahkan karena digunakannya prategang maka kapasitasnya dukungngya lebih besar. Keberadaan lobang pada slab tersebut sangat berguna jika diaplikasikan pada bangunan tinggi karena mengurangi bobot lantai.



Gambar 2.2 Penampang Hollow Core Slab

Sumber : Brosur PT. Beton Elemenindo Perkasa

3. Double Tee Slab

Double Tee adalah struktur penahan beban yang menyerupai dua balok-T yang saling terhubung satu sama lain. Ikatan yang kuat dari flens (bagian horizontal) menciptakan struktur yang mampu menahan beban tinggi sekaligus memiliki bentang yang panjang. Ukuran bentang panjang dari tee ganda hingga 32 meter, untuk lebar flens, rata-rata 1,2 meter. Double Tee dibuat dari beton pratekan yang dicetak dipabrik karena membutuhkan tingkat presisi yang tinggi dan alat produksi yang modern.



Gambar 2.3 Double Tee Slab

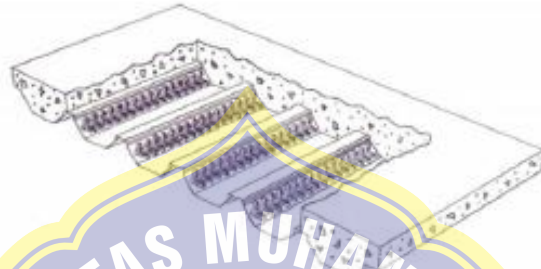
Sumber : Google

2.1.3 Pelat Bondek

Pelat bondek adalah pelat kombinasi yang menggunakan steel deck sebagai pengganti tulangan momen positif (tulangan bawah), dimana steel deck (pelat baja) ini juga sekaligus sudah berfungsi sebagai bekisting pelat dan lantai kerja, sedangkan untuk tulangan momen negative bisa menggunakan tulangan baja biasa atau menggunakan wiremesh. bondek merupakan bahan penulangan positif satu arah pada lantai beton bangunan bertingkat. Lembaran panel berbentuk pelat gelombang ini terbuat dari baja struktural dengan tebal 0,70 – 1,2 mm yang digalvanis secara merata. bondek atau pelat baja bergelombang jika dikombinasikan dengan campuran beton akan membentuk suatu sistem pelat lantai komposit yang sempurna.

Bondek adalah decking dengan profil “2W” yang dilengkapi sistem protrude shape dan merupakan produk penyempurnaan dari

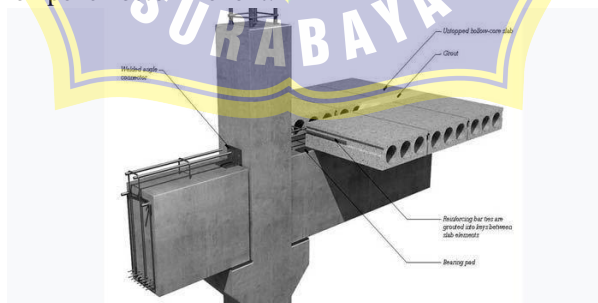
produk steeldeck yang ada di pasaran dan diproduksi dengan menggunakan mesin canggih untuk menghasilkan kualitas produk dengan tingkat presisi yang tinggi.



Gambar 2.4 Pelat Komposit Bondek
Sumber : Google

2.1.4 Sistem Koneksi (Sambungan Basah)

Sambungan basah (Wet Connection) terdiri dari keluarnya besi tulangan dari bagian ujung komponen beton pracetak yang mana antar tulangan tersebut dihubungkan dengan bantuan *Mechanical Joint* atau batang penyaluran. Kemudian pada bagian sambungan tersebut dilakukan pengecoran beton ditempat. Jenis sambungan ini dapat berfungsi baik untuk mengurangi penambahantegangan yang terjadi akibat rangkai, susut dan perubahan temperatur. Sambungan basah ini sangat dianjurkan untuk bangunan didaerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing-masing komponen beton monolit.



Gambar 2.5 Sistem Sambungan Pelat HCS dengan Balok
Sumber : Google

2.2 Analisa Struktur Pelat Lantai

2.2.1 Analisa Struktur Hollow Core Slab (HCS)

Pelat Hollow Core dapat dimodelkan sebagai plat orthotropis satu arah dengan menggunakan teori Reissner. Kita memilih arah sumbu X untuk lubang dan arah sumbu Z ke atas.

1. Pemodelan untuk menentukan karakteristik dan tegangan pada Hollow Core Slab

$$m_{xx} = \frac{E}{(1-\nu)} (I_x \cdot K_{xx} + \nu I_y \cdot K_{yy})$$

$$m_{yy} = \frac{E}{(1-\nu)} I_y (K_{yy} + \nu K_{xx})$$

$$m = G \cdot I_t \cdot K$$

$$q = G \cdot n \cdot A \cdot \phi$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas

G = Modulus geser

ν = Poisson ratio

M = q = Gaya penampang per satuan panjang

K = kelengkungan

ϕ = Deformasi geser

Luas persatuan panjang dari penampang arah sumbu Y :

$$A_x = t_1 + t_2 + a ,$$

Dimana,

$$a = \frac{t_3^3}{b_1} (h - t_1 - t_2)$$

keterangan :

A_x = Luas Penampang per satuan panjang sumbu Y

a = Luas flens HCS

t1 = Tebal flens atas

t2 = Tebal flens bawah

t3 = Tebal badan

h = Tebal pelat Hcs

$$S_x = 0,5 \cdot t_1^2 + a \cdot 0,5 \cdot (h + t_1 - t_2) + t_2 \cdot (h - 0,5 \cdot t_2)$$

$$Z_x = S_x / A_x$$

Moment inersia persatuan panjang :

$$I_x = \frac{1}{12} t_1^3 + t_1 \left(Z_x - \frac{1}{2} t_1 \right)^2 + \frac{1}{12} t_2^3 + t_2 \left(h - Z_x - \frac{1}{2} t_1 \right)^2 + \frac{1}{12} a (h - t_1 - t_2)^2 + a [Z_x - 0,5 (h + t_1 - t_2)]^2$$

Luas persatuan panjang penampang sumbu X :

$$A_y = t_1 + t_2$$

$$S_y = 0,5 \cdot t_1^2 + t_2 (h - 0,5 t_1)$$

$$Z_x = S_y / A_y$$

Moment inersia persatuan panjang :

$$I_y = 0,83 t_1^3 + t_1 (Z_y - 0,5 t_1)^2 + 0,83 t_2^3 + t_2 (h - Z_y - 0,5 t_2)^2$$

Konstanta torsi (I_t)

$$I_t = \frac{t_1 \cdot t_2 (2h - t_1 - t_2)^2}{4 (t_1 + t_2)}$$

2. Pemulihan tegangan

Distribusi tegangan ditengah flens :

$$\sigma_{xx} = \frac{m_{xx}}{I_x} (Z_x - 0,5 t_1) + \frac{n_x}{A_x}$$

$$\sigma_{yy} = \frac{m_{yy}}{I_y} (Z_y - 0,5 t_1)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{2 m_{xy}}{t_1 (2h - t_1 - t_2)}$$

$$\sigma_{yz} = \frac{3 t_1^2 \cdot q_y}{2 t_1^3 + t_2^3}$$

3. Perencanaan Hollow Core Slab (HCS)

A. Tegangan Ijin pada saat transfer

1). Tegangan serat ekstrim terhadap tekan = $0,6 f'_{ci}$

2). Tegangan serat ekstrim terhadap tarik = $3 \sqrt{f'_{ci}}$

B. Tegangan Ijin pada beban layan

1). Tegangan serat ekstrim terhadap tekan akibat prategang ditambah beban = $0,45 f'_{ci}$

2). Tegangan serat ekstrim terhadap tekan akibat prategang ditambah beban total = $0,6 f'_{ci}$

- 3). Tegangan serat ekstrim terhadap tarik pada daerah pratekan = $3 \sqrt{f'c}$

C. Kuat ultimit rencana

- 1). Faktor beban (U)

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL$$

- 2). Faktor reduksi lentur (ϕ) = 0,9

- 3). Kuat lentur

$$\mu_u = \phi \mu = \phi \cdot A_p s \cdot f_p s \left(d_p - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_p s \cdot f_p s}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

Dimana, $f_p s$ = nilai yang dihitung oleh komparabilitas regangan

$$f_p s = f_{pu} \left(1 - \frac{Y_p \cdot f'pu}{\beta_1 \cdot f'c} \right)$$

Syarat, $M_n > 1,2 M_{cr}$

D. Kehilangan prategang

- 1). Perpendekan elastis

$$ES = Kes \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir}$$

$$Kes = 1,0 \text{ (Untuk batang pratarik)}$$

$$f_{cir} = K_{cir} \left(\frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e^2}{I} \right) - \frac{Mg \cdot e}{I}$$

$$K_{cir} = 0,9 \text{ (Untuk batang pratarik)}$$

- 2). Rangkak beton

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{c ds})$$

$$K_{cr} = 2,0 \text{ (Berat normal untuk batang pratarik)}$$

$$= 2,0 \text{ (Berat yang ringan untuk batang pratarik)}$$

$$f_{c ds} = \frac{M_{sd} \cdot e}{I}$$

- 3). Susut beton

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \cdot \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) \cdot (100 - RH)$$

Dimana :

Ksh = 1,0 (Untuk batang pratarik)
 RH = Kelembaban relatif lingkungan

4). Relaksasi baja

$$RE = [Kre - J (SH + CR + ES)] C$$

Dimana,

Kre, J, C = Faktor dari tabel 4.1 dan 4.2

5). Total Kehilangan Prategang

$$\text{Kehilangan Total} = ES + CR + SH + RE$$

Tabel 2.1 Type Kabel Prategang

Type Tendon	Kre (Psi)	J
Tegangan kabel mutu 270	20	0,15
Tegangan kabel mutu 250	18,5	0,14
Tegangan kabel mutu 240 atau 235	17,6	0,13
Tegangan kabel Relaksai rendah mutu 270	5000	0,040
Tegangan kabel Relaksai rendah mutu 250	4630	0,037
Tegangan kabel Relaksai rendah mutu 240 atau 235	4400	0,035

Tabel 2.2 Harga C

Fsi / fpu	Tegangan Kabel	Teg. Batang / Kabel relaksasi rendah
0,80	-	1,28
0,78	-	1,16
0,75	1,45	1,00
0,73	1,27	0,90
0,70	1,00	0,75
0,68	0,89	0,66
0,65	0,73	0,53
0,63	0,63	0,45
0,60	0,49	0,33

E. Kuat Lentur rencana

Kapasitas momen dari batang prategang adalah suatu fungsi dari tegangan ultimit yang meningkat pada kabel prategang, seperti pada beton non prategang batas atas dan batas bawah diganti oleh sebuah tulangan agar menyakinkan bahwa tegangan pada kabel sesuai dengan tegangan kabel kondisi daktail. Syarat batas bawah penulangan adalah :

$$\phi M_n \geq 1,2 M_{cr}$$

Dimana,

$$M_{cr} = \frac{I}{y_b} \left(\frac{P}{A} + \frac{Pe}{S_b} + 0,75 \sqrt{f'c} \right)$$

Batas atas tulangan dibatasi oleh momen kapasitas yang harus didasarkan pada balok yang tertekan, Maka :

$$\phi M_n = \phi [f'c \cdot b \cdot d^2 \cdot (0,36 \cdot \beta_1 - 0,08 \cdot \beta_1)]$$

F. Perencanaan geser

Pelat hollow core direncanakan untuk geser berdasarkan peraturan ACI struktur prategang biasa. Persyaratan yang harus dipenuhi, yakni :

$$V_u \leq \phi V_n$$

Dimana,

$$\phi = 0,85$$

$$V_n = V_c + V_s$$

V_s adalah kontribusi dari tulangan geser diambil sama dengan nol. Kekuatan geser beton nominal menggunakan persamaan :

$$V_c = \left(0,6 \sqrt{f'c} + 700 \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) B_w \cdot d$$

Ketika gaya prategang efektif tidak lebih dari 40% dari tulangan lentur. $\frac{V_u \cdot d}{M_u} < 1$, harga minimum untuk V_c menggunakan $2 \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$ dan harga maksimum menggunakan $5 \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$.

Sebagai alternative perhitungan dapat menggunakan rumus berikut :

$$V_{ci} = 0,6 \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot Cr}{M_{max}}$$

$$V_{cw} = (3,5 \cdot \sqrt{f'c} + 0,3 f_{pc}) bw \cdot d$$

Dimana,

V_d = Geser berat sendiri tidak terfaktor untuk penampang komposit

V_i = $V_u - V_d$

M_{max} = $M_u - M_d$

M_d = Moment berat sendiri tidak terfaktor untuk penampang komposit

Syarat : $V_c > 1,7 \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$

$$V_c > 2 \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$$

Ketika gaya prategang efektif > 40%

G. Lawan lendut dan lendutan

- Lendut

Lawan lendut adalah lendutan kearah atas dari batang prategang dan merupakan hasil dari gaya prategang eksentrisitas terbentuk dari beban rencana dan panjang bentang , lawan lendut adalah :hasil perencanaan lebih dari parameter perencanaan karena itu lawan lendut tidak spesifik.

- Lendutan

Pada umumnya pelat hollow core direncanakan tidak retak pada beban layan sehingga pengaruh retak dapat diabaikan.

H. Pengangkatan atau handling

Pada umumnya pelaksanaan pengangkatan hollow core dilakukan sebelum pemasangan pada tumpuan sehingga perlu dilakukankontrol tegangan saat pengangkatan. Dalam hal ini beban yang yang berpengaruh hanya beban hollow core sendiri.

Peralatan yang digunakan adalah tower crane atau mobil crane, sedangkan diameter kabel dan beban yang dapat ditahan oleh kabel adalah saeperti tabel di bawah ini :

Tabel 2.3 kekuatan kabel prategang

Diameter kabel (inchi)	Safe load (Kips)
3/8	3,6
7/16	4,4
1/2	5,7

4. Prosedur perencanaan pelat hollow core adalah sebagai berikut :
 - A. Mutu beton minimal yang digunakan K – 300
 - B. Besi Prestressed low relaxation, PC WIRE $\phi 5$ mm dengan $f_{pu} = 1625$ MPa
 - C. Pada saat pengecoran topping, perlu diperhitungkan beban topping dan pekerja.
 - D. Pada saat tumpuan sementara dilepas, diperhitungkan beban topping. (SNI 2847 pasal 19.3).
 - E. Check tegangan pada saat transfer (SNI 2847 pasal 20.4 - 5)
 - Kondisi serat atas : $\frac{-P_i}{A_c} + \frac{P_i \cdot e}{S_t} < f_{ti}$
 - Kondisi serat bawah : $\frac{-P_i}{A_c} - \frac{P_i \cdot e}{S_b} < f_{ci}$
 - F. Check tegangan pada saat setelah looses
 - Kondisi serat atas : $\frac{-P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e}{S_t} - \frac{M_{slb}}{S_t} < f_c$
 - Kondisi serat bawah : $\frac{-P_{eff}}{A_c} - \frac{P_{eff} \cdot e}{S_b} + \frac{M_{slb}}{S_b} < f_t$
 - G. Check tegangan pada saat setelah topping terpasang
 - Kondisi serat atas : $\frac{-P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e}{S_t} - \frac{M_{slb}}{S_t} + \frac{M_{corpek}}{S_t} < f_t$
 - Kondisi serat bawah : $\frac{-P_{eff}}{A_c} - \frac{P_{eff} \cdot e}{S_b} + \frac{M_{slb}}{S_b} - \frac{M_{corpek}}{S_b} < f_c$
 - H. Check tegangan setelah support sementara dilepas (sebagai pelat komposit)
 - Kondisi serat atas :

$$\frac{-P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff} \cdot e}{St} - \frac{M_{slb}}{St} + \frac{M_{corpek}}{St} M_{prop} \left(\frac{h-C_{bk}}{I_{ck}} \right) < f_c$$

Kondisi serat bawah :

$$\frac{-P_{eff}}{Ac} - \frac{P_{eff} \cdot e}{S_b} + \frac{M_{slb}}{S_b} - \frac{M_{corpek}}{S_b} + \frac{M_{prop}}{S_{bk}} < f_t$$

- I. Check tegangan saat beban layan bekerja (sebagai pelat komposit)

Kondisi serat atas :

$$\frac{-P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff} \cdot e}{St} - \frac{M_{slb}}{St} + \frac{M_{corpek}}{St} - prop \left(\frac{h-C_{bk}}{I_{ck}} \right) (M_{sl} + M_{sdl}) x \left(\frac{h-c_{bk}}{I_{ck}} \right) < f_c$$

Kondisi serat bawah :

$$\frac{-P_{eff}}{Ac} - \frac{P_{eff} \cdot e}{S_b} + \frac{M_{slb}}{S_b} - \frac{M_{corpek}}{S_b} + \frac{M_{prop}}{S_{bk}} + \frac{M_{ll}}{S_{bk}} + \frac{M_{ul}}{S_{bk}} M_u < f_t$$

- J. Check kapasitas retak $\frac{0,6 M_n}{M_{cr}} > 1,2$

- K. Check geser vertikal (SNI 2847 pasal 19.4).

Saat beban layan belum bekerja (ditahan oleh Hcs saja)

$$v_c = 0,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{f_c}$$

$$V_c = v_c \cdot b_w \cdot d_p$$

$$V_u < 0,85 \cdot V_c$$

Saat beban layan bekerja (ditahan oleh pelat komposit)

$$V_c = v_c \cdot (b_w (h_{top} + d_p) + h_{top} \cdot d_p)$$

Jika $V_{ux} < 0,85 \cdot V_c$, maka tidak perlu tulangan geser.

- L. Check defleksi saat kondisi awal dan akhir $< L / 240$

- M. Tulangan tansfersal / lateral

$$0,9 \cdot M_n > M_u$$

- N. Tulangan sambungan antar HCS

$$0,9 \cdot M_n > M_u$$

2.2.2 Analisa Struktur Pelat Bondek

Plat bondek selain digunakan sebagai bekisting permanen juga digunakan sebagai tulangan pitisif 1 arah.

Perhitungan momen pada pelat lantai bondek sesuai peraturan ANSI-SDI-2017 sebagai berikut :

$$Mlx = 0,094 \cdot Q \cdot Lx^2$$

Dimana,

Mlx = Momen lapangan arah X (kg.m)

Q = Beban kombinasi (kg)

Lx = Lebar arah X (m)

$$Mtx = 0,117 \cdot Q \cdot Lx^2$$

Dimana,

Mlx = Momen tumpuan arah X (kg.m)

Q = Beban kombinasi (kg)

Lx = Lebar arah X (m)

$$Mly = 0,094 \cdot Q \cdot Ly^2$$

Dimana,

Mlx = Momen lapangan arah Y (kg.m)

Q = Beban kombinasi (kg)

Lx = Lebar arah Y (m)

$$Mty = 0,117 \cdot Q \cdot Ly^2$$

Dimana,

Mlx = Momen tumpuan arah Y (kg.m)

Q = Beban kombinasi (kg)

Lx = Lebar arah Y (m)

Kontrol kapasitas moment bondex sesuai dengan W-Deck Design and Construction Manual (2009) adalah sebagai berikut :

$$\emptyset M > Mlx$$

Dimana,

$\emptyset M$ = 973 kgm

Mlx = Momen lapangan arah X (kg.m)

Apabila $\emptyset M > Mlx$ maka tidak diperlukan tulangan lapangan arah X.

Momen negatif pelat bondek : $\emptyset M > Mtx$

Dimana,

$$\emptyset M = 720 \text{ kgm}$$

$$Mlx = \text{Momen tumpuan arah X (kg.m)}$$

Apabila $\emptyset M > Mtx$ maka tidak diperlukan tulangan tumpuan arah X.

Perhitungan desain penulangan :

Pada perhitungan desain ini, menghitung berapa besar momen yang terjadi pada bagian pelat tumpuan dan lapangan, Setelah momen didapat baru dapat ditentukan tulangan rencana yang dipakai.

1. Mencari nilai m dan Rn

$$m = f_y / (0,85 \cdot f'c)$$

Dimana,

m = faktor tegangan tarik terhadap tegangan beton

f_y = kuat tarik baja

$f'c$ = kuat tarik beton

$$R_n = M_n / (b \cdot d^2)$$

Dimana,

R_n = faktor momen nominal terhadap luas penampang efektif

b = lebar penampang

d = tinggi efektif penampang

2. Mencari nilai ratio tulangan

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y$$

Dimana,

ρ_{\min} = batasan ratio tulangan minimum

f_y = kuat tarik baja

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \left(\frac{600 + f_y}{600} \right)$$

Dimana,

ρ_b = ratio tulangan seimbang

β_1 = faktor yang menghubungkan tinggi blok tekanan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral (balance)

f_c = kuat tekan beton

ρ_{max} = $0,75 \cdot \rho_b$

Dimana,

ρ_{max} = ratio tulangan maksimum

ρ_b = ratio tulangan seimbang

3. Perhitungan tulangan perlu

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

Dimana,

ρ_{perlu} = ratio tulangan perlu

m = faktor tegangan tarik terhadap tegangan beton

R_n = faktor momen nominal terhadap luas penampang efektif

f_y = kuat tarik baja

antara ρ_{min} dan ρ_{perlu} diambil nilai yang paling besar dengan batasan maksimum ρ_{max} .

4. Perhitungan luas tulangan perlu

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Dimana,

ρ = ratio tulangan

b = lebar penampang

d = tinggi efektif penampang

5. Perhitungan jarak tulangan

$$S = 1000 / (A_s \text{ perlu} \cdot A_s \text{ Tulangan})$$

Dimana,

S = Jarak tulangan

$A_s \text{ perlu}$ = Luas tulangan yang dibutuhkan

$A_s \text{ Tulangan}$ = Luas tulangan terhitung

2.3 Metode Pelaksanaan

Pada proses pelaksanaan sebuah proyek konstruksi perlu dipertimbangkan metode pelaksanaan yang digunakan untuk mempersingkat waktu pelaksanaan. Tuntutan kerja dengan waktu yang cepat serta kualitas yang lebih baik menjadi alasan suatu inovasi. Berikut adalah hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menyusun metode pelaksanaan :

2.3.1 Pemilihan dan Penempatan Tower Crane

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan tower crane yaitu :

1. Kapasitas/kemampuan angkut maksimum tower crane
2. Penempatan tower crane harus bisa menjangkau seluruh area kerja dan area pabrikasi.
3. Jumlah ketersediaan alat dipasaran
4. Type atau jenis tower crane
5. Posisi counter weight harus aman dari pemukiman warga

2.3.2 Zoning Area Pekerjaan

Hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum melaksanakan pekerjaan yaitu area kerja harus ditetapkan zonanya untuk memetakan area pekerjaan. Dasar penentuan zoning arean pekerjaan adalah sebagai berikut :

1. Luasan area pekerjaan terlalu luas sehingga perlu dibagi zona pekerjaan
2. Grup/tim pekerja yang berbeda
3. Jangkauan alat berat
4. Urutan pelaksanaan pekerjaan.

2.4 Perhitungan Waktu Pelaksanaan

Perhitungan waktu pelaksanaan ini dilakukan setelah mendapatkan hasil analisa struktur pelat dan perhitungan volume. Perhitungan waktu pelaksanaan mengacu pada teori produktivitas sebagai berikut :

$$Q_e = q \times N \times E_k = q \times 60/WS \times E$$

Dimana,

- Q_e = Kapasitas produksi peralatan per jam
 q = Kemampuan produksi peralatan dalam satu siklus
 N = Jumlah trip yang dilakukan dalam satu jam
 E_k = Efisiensi kerja
 WS = Waktu siklus (*Cycle Time*) dalam menit

Didapat,

$$D = V / Q_e$$

Dimana,

- D = Durasi pekerjaan
 V = Volume pekerjaan
 Q_e = Kapasitas produksi

2.4.1 Durasi Pembesian

Durasi pembesian dihitung berdasarkan waktu untuk membuat bengkakan, kaitan, potongan, dan pemasangan. Rumus perhitungan durasi pembesian adalah sebagai berikut :

1. Durasi memotong

$$\text{Durasi (Jam)} = \frac{\text{Jumlah Tulangan}}{\text{Kapasitas Produksi}}$$

2. Durasi bengkakan dengan mesin

$$\text{Durasi (Jam)} = \frac{\text{Jumlah Bengkokan}}{\text{Kapasitas Produksi}}$$

3. Durasi membuat kaitan

$$\text{Durasi (Jam)} = \frac{\text{Jumlah Kaitan}}{\text{Kapasitas Produksi}}$$

4. Durasi pemaasanagan tulangan

$$\text{Durasi (Jam)} = \frac{\text{Jumlah Tulangan}}{\text{Kapasitas Produksi}}$$

Jam kerja dalam 1 hari adalah 8 jam, Perhitungan durasi perhari adalah sebagai berikut :

$$\text{Durasi (Hari)} = \frac{\text{Jumlah Durasi}}{8 \text{ Jam} \times \text{Jumlah Grup}}$$

Tabel 2.4 : Waktu yang dibutuhkan untuk membuat bengkokan dan kaitan

Dia. Tulangan (mm)	Manual		Mesin	
	Bengkokan (Jam)	Kaitan (Jam)	Bengkokan (Jam)	Kaitan (Jam)
12,00	2 - 4	3 - 6	0,8 - 1,5	1,2 - 2,5
16,00	2,5 - 5	4 - 8	1 - 2	1,6 - 3
19,00				
22,00				
25,00	3 - 6	5 - 10	1,2 - 2,5	2 - 4
31,75	4 - 7	6 - 12	1,5 - 3	2,5 - 5

Sumber : Soedrajad (1994)

Tabel 2.5 : Waktu yang dibutuhkan untuk memasang 100 batang tulangan

Dia. Tulangan (mm)	Panjang Tulangan		
	< 3 m (Jam)	3 - 6 m (Jam)	6m < (Jam)
12,00	3,5 - 6	5 - 7	6 - 8
16,00	4,5 - 7	6 - 8,5	7 - 9,5
19,00			
22,00			
25,00	5,5 - 8	7 - 10	8,5 - 11,5
31,75	6,5 - 9	8 - 12	10 - 14

Sumber : Soedrajad (1994)

2.4.2 Durasi Pengecoran

Pelaksanaan pengecoran dilakukan setelah Bekisting balok dan pelat serta besi topping terpasang. Pengecoran lantai 2 – 10 menggunakan concrete pump.

Efisiensi kerja yang digunakan menurut Rochmanhadi (1992), Sebagai berikut :

1. Kondisi cuaca
Kondisi = Terang, Panas, Berdebu
Nilai = 0,83
2. Faktor operator dan mekanik
Kondisi = Cukup
Nilai = 0,70

3. Faktor alat dan pemeliharaan mesin

Kondisi = Baik

Nilai = 0,75

Rumus perhitungan kapasitas produksi :

$$Q_e = DC \times E_k$$

Dimana,

Q_e = Kapasitas Produksi (m^3/jam)

DC = Delivery Capacity ($90 m^3/jam$)

E_k = Efisiensi Kerja

Selain melakukan perhitungan kapasitas produksi concrete pump perlu dilakukan perhitungan untuk waktu persiapan, waktu tambahan persiapan, waktu operasional pengecoran, dan waktu pasca pengecoran.

Berikut perhitungan tahapan-tahapan pada saat pengecoran :

1. Waktu persiapan

Waktu persiapan untuk pekerjaan pengecoran antara lain :

A. Pengaturan posisi truck mixer dan concrete pump = 10 menit

B. Pemasangan pompa = 25 menit

C. Waktu tunggu (idle time) pompa = 10 menit

Maka total waktu persiapan pengecoran kurang lebih = 45 menit

2. Waktu persiapan tambahan

Waktu persiapan tambahan terdiri dari :

A. Pergantian truck mixer apabila pengecoran membutuhkan lebih dari 1 truck mixer = Jumlah truck x 3 menit

B. Waktu untuk test slump dan pengambilan benda uji = Jumlah truck x 5 menit

C. Waktu operasional pengecoran

$$\text{Durasi (t)} = \text{Volume (m}^3\text{)} / \text{Kapasitas produksi (m}^3\text{/jam)}$$

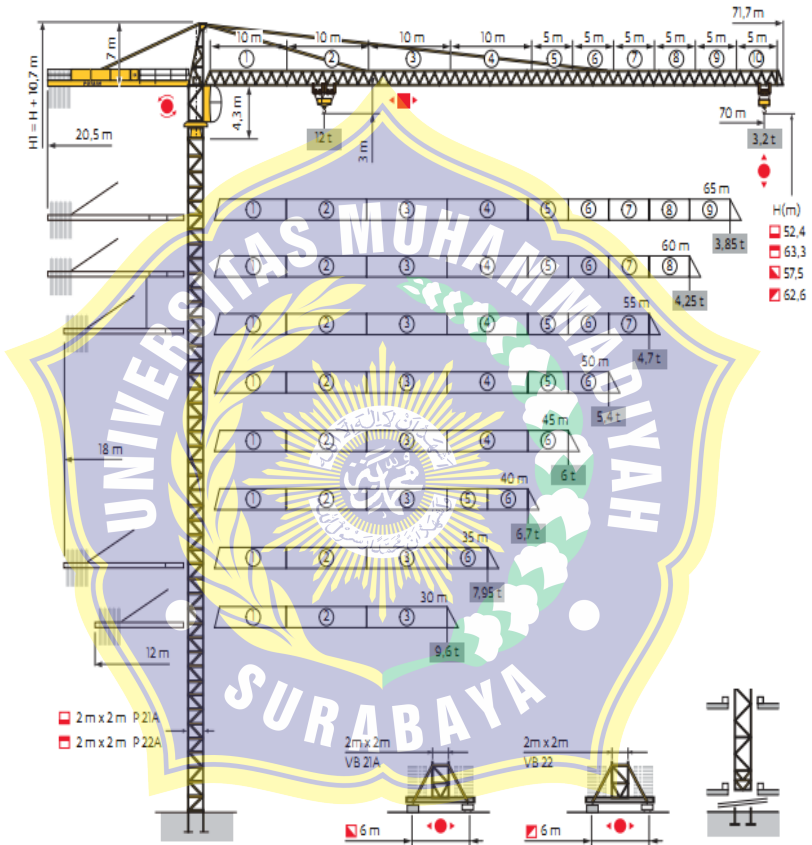
Sehingga didapat,

Total Waktu = Persiapan + persiapan Tambahan + Waktu operasional pengecoran.

2.4.3 Durasi Erection Pelat HCS dan Bondek

Alat yang digunakan untuk pengangkatan (erection) material HCS dan bondek yaitu tower crane.

Adapun spesifikasi tower crane dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.6 Tower Crane Potain MC 310 K12

Sumber : Brosur Manitowoc

Tabel 2.6 Spesifikasi Tower Crane Potain MC 310 K12

Type	MC 310 K12	
Boom Leght	3,1 - 70	m
Jip Leght	20,5	m
Maximum Lifting Cappacity	3,2	Ton
Hoisting Speed	0 - 80	m/min
Trolleying Speed	15 - 100	m/min
Slewing Speed	0 - 0,7	rpm
Traveling Speed	0 - 80	m/min
Power	100	kVA

Sumber : Brosur Manitowoc

1. Waktu siklus (cycle time)

Adalah waktu yang dibutuhkan tower crane untuk menyelesaikan satu kegiatan produksi pekerjaan. Tiap satu siklus tergantung pada :

- A. Radius atau lintasan pada saat beroperasi
- B. Jarak lokasi pekerjaan
- C. Kecepatan yang dimiliki tower crane
- D. Tinggi lantai
- E. Waktu yang dibutuhkan untuk mengangkat, mengangkat, berputar, menurunkan dan membongkar muatan
- F. Waktu yang dibutuhkan untuk kembali keposisi semula

Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung waktu siklus tower crane adalah sebagai berikut :

A. Waktu Hoisting (Angkat)

$$t = d / v$$

dimana,

t = waktu hoisting (menit)

v = kecepatan hoisting (m/menit)

d = tinggi hoising (meter)

B. Waktu Trolleying (Troley jalan)

$$t = d / v$$

dimana,

- t = waktu trolleying (menit)
- v = kecepatan trolleying (m/menit)
- d = panjang trolleying (meter)

C. Waktu Sweeing (Berputar)

$$t = \alpha / v$$

dimana,

- t = waktu sweeing (menit)
- v = kecepatan hoisting (°/menit)
- α = sudut sweeing (°)

D. Waktu Landing (turun)

$$t = d / v$$

dimana,

- t = waktu Landing (menit)
- v = kecepatan hoisting (m/menit)
- d = tinggi Landing (m)

2. Waktu bongkar dan muat

Waktu yang dibutuhkan tower crane untuk memuat dan menurunkan material, seperti tabel berikut :

Tabel 2.7 Waktu muat dan bongkar muatan

No	Pekerjaan	Waktu Muat (Menit)	Waktu Bongkar (Menit)
1	Scaffolding	3	3
2	Pipe Support	3	5
3	Bekisting	3	5
4	Besi Beton	5	7
5	Pabrikasi Kolom	3	5
6	Profil Baja	5	7
7	Preceast Dinding	3	6

Sumber : Informasi dan pengamatan lapangan

3. Kapasitas angkut tower crane (1 kali angkut)

Adalah kapasitas ukuran, volume, dan berat material yang dijadikan pedoman pada saat tower crane mengangkut material untuk satu kali jalan.

Tabel 2.8 Kapasitas angkut material

No	Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Berat (kg)	Total Berat (kg)
1	Besi Beton	200	Btg	7.395	1.498,9
2	Preceast dinding	1	bh	*var	*var
3	Plat Halfslab	1	Bh	*var	*var
4	Bekisting kolom	1	bh	*var	*var

Sumber : Informasi dan pengamatan lapangan

4. Faktor koreksi kondisi kerja

Merupakan suatu faktor yang memperhitungkan pengaruh unsur yang berkaitan dengan mesin, manusia dan keadaan cuaca.

Tabel 2.9 Faktor koreksi kerja dan manajemen tata laksana

No	Kondisi Pekerjaan	Kondisi Tata Laksana			
		Baik Sekali	Baik	Sedang	Buruk
1	Baik Sekali	0,84	0,81	0,76	0,70
2	Baik	0,78	0,75	0,71	0,65
3	Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60
4	Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52

Sumber : Rochmanhadi (1992)

5. Faktor efisiensi kerja

Tabel 2.10 Faktor efisiensi kerja

No	Waktu Kerja Efektif	Faktor Koreksi
1	50 menit/jam	0,84
2	40 menit/jam	0,67

Sumber : Rochmanhadi (1992)

6. Faktor keadaan cuaca

Tabel 2.11 Faktor keadaan cuaca

No	Keadaan Cuaca	Faktor Koreksi
1	Cerah	1,0
2	Berdebu, Hujan, Gelap	0,8

Sumber : Rochmanhadi (1992)

7. Faktor ketrampilan operator

Tabel 2.12 Faktor ketrampilan operator

No	Keadaan Cuaca	Faktor Koreksi
1	Baik Sekali	1,00
2	Sedang	0,75
3	Buruk	0,60

Sumber : Rochmanhadi (1992)

8. Produktivitas Erection pelat HCS dan Bondek

Adalah kemampuan alat untuk menyelesaikan pekerjaan dalam satu siklus lintasan operasi yang dinyatakan dalam satuan volume. Produktivitas alat tergantung dari waktu siklus, kapasitas alat dan faktor efisiensi yang dipakai.

$$Q_e = q \times 60 / WS \times E$$

Dimana,

Q_e = Kapasitas produksi (buah/jam)

Q = Kemampuan produksi alat dalam 1 siklus (buah)

WS = Waktu siklus peralatan (menit)

E = Efisiensi kerja

9. Durasi pekerjaan

Adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan. Rumus yang dipakai untuk menghitung durasi pekerjaan adalah sebagai berikut :

$$D = V / Q_e$$

Dimana,

- D = Durasi pekerjaan (jam)
 V = Volume (buah)
 Qe = Kapasitas produksi alat (buah/jam)

2.5 Analisa Biaya Pekerjaan

Menurut Sastraatmaja (1984), analisa biaya dilakukan untuk memperoleh perkiraan biaya pelaksanaan suatu pekerjaan dengan berdasarkan sumber daya yang ada dan metode pelaksanaan tertentu. Dalam melakukan analisa biaya terlebih dahulu harus mengetahui spesifikasi yang digunakan dalam perencanaan konstruksi tersebut. Misalnya untuk volume menggunakan satuan m³ (meter kubik). Sedangkan untuk berat menggunakan satuan kg.

Dalam proyek-proyek besar seperti proyek konstruksi biaya pekerjaan bisa dihitung dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Untuk menghitung RAB dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$RAB = \sum[(Volume Pekerjaan) \times Harga Satuan Pekerjaan]$$

2.5.1 Perhitungan Volume Pekerjaan

Hasil Perhitungan volume nantinya digunakan untuk menghitung durasi dan biaya yang dikeluarkan.

1. Perhitungan volume pelat konvensional, Hcs dan bondek
 Perhitungan volume pelat konvensional, Hcs dan bondek dilakukan dengan cara merekap data perencanaan yang telah dilakukan sebelumnya dan menghitung jumlah elemen total yang dibutuhkan. Hasil dari perhitungan volume nantinya digunakan untuk menghitung durasi pekerjaan dan anggaran biaya.
2. Perhitungan volume beton
 Perhitungan volume beton pelat konvensional, Hcs dan bondek dengan cara mengalikan antara panjang (p), lebar (l), dan tebal pelat (t) dalam satuan m³.
3. Volume pembesian
 Volume pembesian dihitung dengan cara menghitung kebutuhan tulangan pada struktur pelat lantai dengan rumus sebagai berikut :

$$Volume \text{ Besi (V)} = \text{Panjang Besi} \times \text{Jumlah} \times \text{Bj Tulangan Besi}$$

2.5.2 Analisa Harga Satuan

Analisa harga satuan pekerjaan menggunakan analisa harga satuan pekerjaan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan daftar harga satuan bahan bangunan, upah kerja dan analisa biaya konstruksi yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya, daftar harga satuan dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum setiap tiga bulan sekali.

Harga satuan pekerjaan pada tugas akhir ini menggunakan harga satuan pekerjaan dari kontraktor pelaksana yakni PT. PP (persero), Tbk dan AHSP kota Palembang 2017, sedangkan untuk harga satuan pekerjaan pembuatan Hollow Core Slab dilakukan perhitungan sendiri.

