

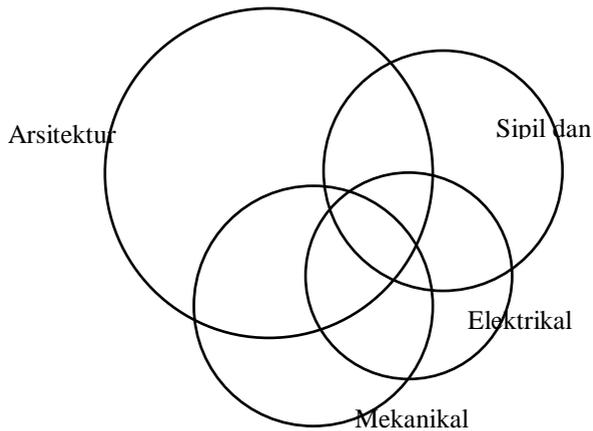
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Value Engineering

2.1.1 Pengertian Value Engineering

Dalam perencanaan anggaran biaya suatu proyek bangunan dipengaruhi oleh beberapa elemen pekerjaan dalam ilmu keteknik sipil, diantaranya arsitektur, struktur, mekanikal, elektrikal. Untuk mengetahui dan memperjelas penggunaan *Value Engineering* dalam hubungannya dengan elemen pekerjaan tersebut dapat kita lihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Berbagai elemen yang mempengaruhi perencanaan biaya suatu bangunan gedung. Sumber: Dell'Isola (1974).

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa biaya total bangunan dipengaruhi oleh berbagai elemen pekerjaan, seperti arsitektur, sipil, mekanikal, elektrikal dan lain-lain. Keputusan yang diambil dalam masing-masing elemen pekerjaan tersebut akan mempengaruhi biaya

baik didalam elemen tersebut maupun secara keseluruhan, misalnya apabila terjadi pembengkakan biaya pada salah satu elemen, maka akan mempengaruhi biaya total keseluruhan.

Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu metode yang dapat membuat biaya elemen tersebut menjadi optimal. Metode tersebut dalam manajemen konstruksi disebut *Value Engineering*.

Value Engineering adalah aplikasi metodologi nilai (*value methodology*) pada sebuah proyek atau layanan yang telah direncanakan atau dikonsepsikan untuk mencapai peningkatan nilai (Berawi, 2014).

Menurut Donomartono (1999) *Value Engineering* adalah suatu metode evaluasi yang menganalisa teknik dan nilai dari suatu proyek atau produk yang melibatkan pemilik, perencana dan para ahli yang berpengalaman dibidangnya masing-masing dengan pendekatan sistematis dan kreatif yang bertujuan untuk menghasilkan mutu dan biaya serendah-rendahnya, yaitu dengan batasan fungsional dan tahapan rencana tugas yang dapat mengidentifikasi dan menghilangkan biaya-biaya dan usaha-usaha yang tidak diperlukan atau tidak mendukung.

Value Engineering dapat juga diartikan sebagai melakukan suatu kajian dengan tidak merubah fungsi dari item pekerjaan balok dan plat lantai. Fungsi dari item pekerjaan balok dan plat lantai akan menjadi tolak ukur dalam merencanakan desain alternatif nantinya. Setelah dilakukan suatu analisis maka akan didapatkan kinerja dari alternatif-alternatif pada pekerjaan balok dan plat lantai yang diusulkan mendapatkan suatu peningkatan pada biaya, atau mungkin pada performansi waktu pelaksanaan.

2.1.2 Konsep *Value Engineering*

Metode *Value Engineering* ini dikembangkan untuk menyediakan cara pengelolaan nilai (*Value*) dan upaya peningkatan inovasi yang sistematis guna memberikan keunggulan sebuah produk. *Value Engineering* fokus terhadap suatu nilai untuk mencapai keseimbangan yang optimum antara waktu, biaya serta kualitas. Konsep ini mempertimbangkan hubungan antara nilai pada perspektif yang lebih luas untuk menciptakan nilai pada proyek yang ditentukan.

Faktor – faktor penggunaan *Value Engineering* diuraikan sebagai berikut:

1. Tersedianya data-data perencanaan

Data-data perencanaan disini adalah data-data yang berhubungan langsung dengan proses perencanaan desain balok dan plat lantai.

2. Biaya awal

Biaya awal disini adalah biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan balok dan plat lantai.

3. Ketersediaan Material

Ketersediaan material adalah material yang digunakan sebagai alternatif-alternatif dalam analisis *Value Engineering* suatu pembangunan setiap item pekerjaan harus mempunyai kemudahan dalam mencarinya dan tersedia dalam jumlah yang cukup di daerah proyek.

4. Penyesuaian terhadap standar

Penyesuaian yang dimaksud adalah alternatif yang digunakan harus mempunyai standar dalam pembangunan baik akurasi dimensi, presisinya, maupun kualitasnya.

5. Dampak terhadap pengguna

Dampak terhadap pengguna suatu bangunan harus mempunyai dampak positif kepada pengguna dari segi keamanan maupun kenyamanan.

2.1.3 Evaluasi Hasil Analisis *Value Engineering*

Proses rekayasa nilai dilakukan dalam kerangka sistematis sehingga hasil akhir yang dicapai sesuai tujuan yang direncanakan (Husen, A. 2011). Setelah dilakukan perhitungan analisa terhadap waktu dan biaya terhadap desain alternatif-alternatif kemudian dilakukan tahap perbandingan. Perbandingan yang dilakukan adalah perbandingan desain eksisting terhadap desain alternatif-alternatif yang diusulkan terhadap segi biaya dan waktu. Alternatif yang akan dipilih berdasarkan nilai penghematan terbesar. Dari perbandingan tersebut kemudian dilakukan pengambilan kesimpulan.

2.2 Beton Bertulang

2.2.1 Pengertian

Beton bertulang merupakan beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang yang direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersamasama dalam menahan gaya yang bekerja (SNI 2847:2013).

2.2.2 Balok

Balok adalah elemen struktur dengan bentang yang arahnya horizontal untuk menahan beban plat yang kemudian ditransfer ke elemen struktur kolom. Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban tekan, dan torsi. Sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut.

2.2.3 Plat

Plat adalah struktur tipis dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Ketebalan bidang plat ini relatif lebih kecil apabila dibandingkan dengan panjang/lebar bidangnya. Plat beton bertulang ini sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bangunan gedung, plat ini berfungsi sebagai diafragma atau unsur pengaku horizontal yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaran balok dan portal (Asroni A.,2010).

Suatu pelat dikatakan pelat dua arah apabila beban yang dipikul pelat dalam kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling pelat. Suatu plat dikatakan satu arah apabila perbandingan antara panjang dan lebar bentang nilainya lebuah dari 2. Plat lantai bukan struktur utama, melainkan struktur sekunder yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan bangunan pada arah horizontal serta menyebarkan beban pada struktur utama balok dan kolom.

2.2.4 Balok *U-Shell*

Balok *Precast U-Shell* merupakan modifikasi dari bentuk balok konvensional yang berbentuk seperti cangkang (*Shell*) yang di buat pracetak sebagian. Balok precast ini bisa di produksi dari pabrik maupun di cor atau diproduksi di lapangan. Komponen ini dipersiapkan di tempat lain untuk kemudian diangkat dan dipasang untuk disatukan dengan komponen lain.

Balok *Precast U-Shell* biasanya menggunakan tulangan balok sesuai dengan design awal atau tanpa merubah design dengan prinsip tulangan tunggal dan dikontrol terhadap tegangan retak beton saat pengangkatan maupun pemasangan. Agar balok *U-Shell* menjadi satu kesatuan, sebagian dilakukan pengecoran yang disebut toping cor.



Gambar 2.2 Produksi *Precast U-Shell*
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)



Gambar 2.3 Balok *Precast U-Shell*
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)

2.2.5 Plat *Half Slab*

Plat *Half Slab* merupakan struktur pelat lantai beton bertulang dengan metode sebagian diproduksi di pabrik (precast) sebagian dicor/dibuat di lapangan. Komponen ini dipersiapkan ditempat lain untuk kemudian diangkat, diangkut dan dipasang pada posisi akhir untuk disatukan dengan komponen lain untuk membentuk suatu elemen utuh. Agar pelat ini menjadi satu kesatuan, biasanya dicor beton bertulang yang disebut topping cor. Alasan pemakaian topping cor antara lain :

1. Kekakuan lentur lebih besar
2. Meningkatkan ketahanan terhadap getaran
3. Membuat lantai berperilaku sebagai diafragma
4. Menaikkan stabilitas horizontal

Proses pengecoran ditempat fabrikasi, maka mutunya dapat terjaga dengan baik. Agar menghasilkan keuntungan, beton pracetak hanya akan diproduksi jika jumlah bentuknya tipikal dan dalam jumlah besar.



Gambar 2.4 Produksi *Half Slab Precast*
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)



Gambar 2.5 Plat *Precast Half Slab*
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)

2.2.6 Steel Deck

Steel Deck merupakan salah satu produk deking baja terbaru yang ditawarkan oleh perusahaan penyedia bahan konstruksi. Sistem deking baja dengan struktur profil “W” ini memiliki beberapa kelebihan yaitu lebih hemat biaya dan memberikan keleluasaan dalam merancang desain. Deking *Steel Deck*, digunakan sebagai pengganti bekisting dan tulangan bawah (tulangan lapangan) serta memiliki daya rentang yang baik, sehingga penggunaan beton dan tulangan lebih efisien.

Sistem ini selain digunakan di struktur baja, dapat juga digunakan di struktur beton. Pengecoran pelat lantai relatif lebih cepat, karena tidak perlu menunggu beton mengering lebih lama dan tidak ada pekerjaan bongkar bekisting/cetakan beton. Steel deck yang dilapisi galvanis memiliki struktur yang kokoh untuk diaplikasikan pada pelat lantai. Selain itu pelat baja ini juga memiliki fungsi ganda yaitu sebagai bekisting tetap dan penulangan positif satu arah, dengan ketebalan 0.75 s/d 1 mm.



Gambar 2.6 *Steel Deck* (Ex. Smart Deck Lysaght)
Sumber: Brosur *Smart Deck* Bluescope Lysaght (2009)



Gambar 2.7 Aplikasi *Steel Deck* untuk komposit beton plat
Sumber: Dokumentasi proyek (2013)

2.2.7 Cara Pemasangan (*Erection*)

Pekerjaan balok *U-Shell* dan plat *Half Slab* ada beberapa prinsip cara pemasangannya. Salah satunya dengan pemasangan per lapis (horizontal) sebagai berikut :

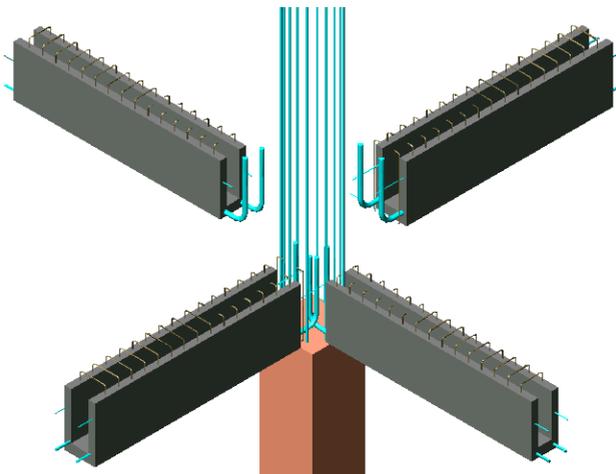
1. Dilakukan lantai per `lantai.
2. Perlu alat pengangkat yang dapat mencapai seluruh bangunan.
3. Karena besarnya momen crack, berat komponen plat *Half Slab* terbatas.
4. Diperlukan skafolding atau *Pipe Support* selama pemasangan.

Pemasangan plat *Half Slab* diatas balok *U-Shell* sesuai dengan dimensi balok dan plat yang sudah direncanakan. Dilakukan pemasangan tulangan tumpuan maupun lapangan, setelah semua tulangan terpasang kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat pracetak dan balok *U-Shell* yang berfungsi sebagai topping. Topping berfungsi untuk menyatukan komponen pelat *Half Slab* dan balok *U-Shell* agar menjadi suatu kesatuan (komposit).

Hal ini juga berlaku pada sistem komposit plat lantai dengan *Steel Deck*. Plat *Steel Deck* menumpu pada balok *U-Shell*, setelah semua selesai kemudian dilakukan pekerjaan pembesian plat dan kemudian dilakukan pengecoran.

2.2.8 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 penambahan tegangan yang terjadi akibat rangkai, susut dan perubahan temperatur. Sambungan basah ini sangat dianjurkan untuk bangunan di daerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing- masing komponen beton pracetak menjadi monolit. Gambar penyambungannya dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sistem sambungan *U-Shell* dengan kolom
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)



Gambar 2.9 Sistem sambungan dengan balok anak
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)



Gambar 2.10 Hasil pada sambungan balok dengan balok
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)



Gambar 2.11 Hasil pada sambungan Kolom
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)

2.3 Analisa Struktur Balok *U-Shell*, *Half Slab*, dan *Steel Deck*

2.3.1 Analisa Struktur Balok *U-Shell*

Prinsip perencanaan balok *U-Shell* (juklak proyek PT. PP, 2014):

1. Jumlah tulangan yang digunakan sama dengan prinsip balok konvensional (tidak merubah desain awal).
2. Kualitas mutu beton sama dengan desain awal.
3. Metode pelaksanaan *U-Shell* dengan cara *Precast* dan *Insitu*
Karena balok *U-Shell* menggunakan desain dimensi dan ukuran sesuai dengan desain awal maka yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:
 1. Kontrol kondisi pengangkatan
 2. Kontrol kondisi pemasangan
 3. Kontrol kondisi saat pengecoran
 4. Kontrol akibat tekanan samping
 5. Kontrol pembesian terhadap gaya lentur

1. Kontrol Kondisi Pengangkatan

Pengangkatan balok U-Shell dengan 4 titik angkat (*PCI Design Handbook*,1999). Tegangan ijin untuk pengangkatan pada saat *Stripping*, *Rotating*, dan *Storage* dengan asumsi umur beton pada saat pengangkatan adalah 3 hari:

Koef umur beton = 0,4 (tabel 4.1.4 PBB1,1971)

$$f'_{ci} = \text{koef} \times f'_c \quad (2.1)$$

dengan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

f'_{ci} = Kuat tekan beton sesuai umur beton (MPa)

Kondisi beton crack:

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_{ci}} \quad (2.2)$$

dengan:

f_r = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)

$\sqrt{f'_{ci}}$ = Akar kuadrat kuat tekan sesuai dengan umur beton (MPa)

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 didapatkan :

$$Q = 1,2DL + 1,6LL \quad (2.3)$$

dengan:

Q = Beban terkombinasi (kg)

DL = *Dead Load* / Beban Mati (kg)

LL = *Life Load* / Beban Hidup (kg)

Perhitungan Momen Lawan:

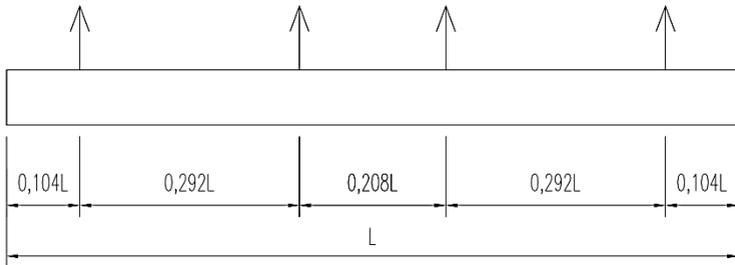
$$W = I / y \quad (2.4)$$

dengan:

W = Momen lawan (cm^3)

I = Inersia (cm^4)

y = Tinggi efektif (cm)



Gambar 2.12 Pengangkatan dengan 4 titik angkat
Sumber: PCI *Design Handbook* (1999)

Perhitungan tegangan (σ):

$$\sigma = M_{\text{maks}} / W \quad (2.5)$$

dengan:

σ = Tegangan (kg/cm^2)

M_{maks} = Momen maksimum (kg cm)

W = Momen lawan (cm^3)

Kontrol tegangan:

Tegangan yang terjadi σ tidak boleh melebihi tegangan crack beton f_r .

2. Kontrol Kondisi Pemasangan

Dengan asumsi umur beton saat pengangkatan adalah 7 hari

Koef umur beton = 0,65 (tabel 4.1.4 PBB1 1971)

Kuat tekan beton sesuai umur beton bisa dilihat pada rumus (2.1)

Kontrol beton pada kondisi crack bisa dilihat pada rumus (2.2)

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 bisa dilihat pada rumus (2.3)

Perhitungan momen lawan bisa dilihat pada rumus (2.4)

Perhitungan tegangan (σ) bisa dilihat pada rumus (2.5)

Kontrol tegangan:

Tegangan yang terjadi σ tidak boleh melebihi tegangan crack beton f_r .

3. Kontrol Kondisi Pengecoran

Koef umur beton = 0,65 (tabel 4.1.4 PBB1 1971)

Kuat tekan beton sesuai umur beton (f'_{ci}) bisa dilihat pada rumus (2.1)

Kontrol beton pada kondisi crack (f_r) bisa dilihat pada rumus (2.2)

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 bisa dilihat pada rumus (2.3)

Perhitungan momen lawan bisa dilihat pada rumus (2.4)

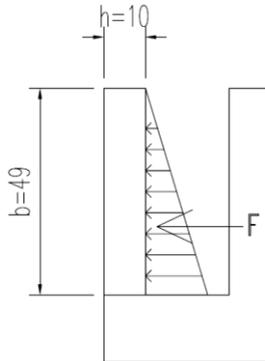
Perhitungan tegangan (σ) bisa dilihat pada rumus (2.5)

Kontrol tegangan:

Tegangan yang terjadi σ tidak boleh melebihi tegangan crack beton f_r .

4. Kontrol Kondisi Pengecoran

Untuk setiap 1m panjang balok, dinding precast akan mendapatkan tekanan akibat pengecoran beton.



Gambar 2.13 Gaya akibat tekanan beton basah saat pengecoran

Sumber: Analisis data (2018)

Mencari Nilai F:

$$F = 1/2 \times \gamma \times b^2 \quad (2.6)$$

dengan:

F = Gaya akibat tekanan beton (kg)

γ = Berat jenis beton (kg/m^3)

b = lebar (m)

Mencari Nilai Momen:

$$M = 1/3 \times F \times b \quad (2.7)$$

dengan:

M = Momen (kg m)

F = Gaya akibat tekanan beton (kg)

b = lebar (m)

y = 1/2 x tinggi (m)

Perhitungan momen lawan bisa dilihat pada rumus (2.4)

Perhitungan tegangan (σ) bisa dilihat pada rumus (2.5)

Kontrol tegangan:

Tegangan yang terjadi σ tidak boleh melebihi tegangan crack beton f_r .

5. Kontrol Pembesian

Kontrol pembesian balok precast *U-Shell* terhadap gaya tarik beton. Kondisi pembebanan yang digunakan pada saat pengecoran sehingga didapatkan beban maksimum yang diterima oleh balok *U-Shell*.

$$M_n = M_u / \emptyset \quad (2.8)$$

dengan,

M_n = Momen nominal terfaktor (N.mm)

M_u = Momen ultimit

\emptyset = Faktor

$$m = f_y / (0,85 \times f'_c) \quad (2.9)$$

dengan,

m = Faktor tegangan tarik terhadap tegangan beton

f_y = Kekuatan tarik baja (MPa)

f'_c = Kekuatan tekan beton (MPa)

$$R_n = M_n / (b \times d^2) \quad (2.10)$$

dengan,

R_n = Faktor momen nominal terhadap luas penampang efektif

b = Lebar penampang (mm)

d = Tinggi efektif penampang (mm)

Batasan ratio tulangan minimum yang disyaratkan pada SNI 2847-2013.

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.11)$$

dengan,

ρ_{min} = Batasan ratio tulangan minimum

f_y = Kekuatan tarik baja (MPa)

Batasan ratio tulangan yang disyaratkan pada SNI 2847-2013.

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.12)$$

dengan,

ρ_b = Rasio tulangan seimbang (balance)

β₁ = Faktor yang menghubungkan tinggi blok tekanan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral

f_y = Kekuatan tarik baja (MPa)
 f'_c = Kekuatan tekan beton (MPa)

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (2.13)$$

dengan,

ρ_{\max} = Rasio tulangan maksimum
 ρ_b = Rasio tulangan seimbang (balance)

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (2.14)$$

dengan,

ρ_{perlu} = Rasio tulangan perlu
 m = Faktor tegangan tarik terhadap tegangan beton
 R_n = Faktor momen nominal terhadap luas penampang efektif
 f_y = Kekuatan tarik baja (MPa)

Dimana, antara ρ_{\min} dan ρ_{perlu} diambil mana yang paling besar dengan batas maksimum ρ_{\max} .

Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \quad (2.15)$$

dengan,

A_{perlu} = Luas tulangan yang dibutuhkan (mm^2)
 ρ_{perlu} = Rasio tulangan perlu
 b = Lebar balok (mm)
 d = Tinggi efektif (mm)

Sehingga luas tulangan perlu harus kurang dari tulangan existing karena desain *U-Shell* tidak merubah jumlah tulangan eksisting.

Check: A_s perlu harus kurang dari A_s Eksisting.

2.3.2 Analisa Struktur *Half Slab*

Analisa dan perencanaan *Half Slab* ditinjau dengan menganggap elemen ini seperti penampang balok yang bertumpu di dua tumpuan. Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 bisa dilihat pada rumus 2.3.

Perhitungan momen-momen pada pelat lantai sesuai dengan peraturan SNI 2847-2013 sebagai berikut :

1. Momen lapangan arah X ujung tak menerus tak terkekang (pasal 8.3.3)

$$M_{lx} = 1/11 \times Q \times Lx^2 \quad (2.16)$$

dengan,

M_{lx} = Momen lapangan arah X (kg.m)

Q = Beban terkombinasi (kg/m²)

Lx = Panjang bentang lapangan arah X (m)

2. Momen lapangan arah Y bentang interior (pasal 8.3.3)

$$M_{ly} = 1/16 \times Q \times Ly^2 \quad (2.17)$$

dengan,

M_{ly} = Momen lapangan arah Y (kg.m)

Q = Beban terkombinasi (kg/m²)

Ly = Panjang bentang lapangan arah Y (m)

3. Momen tumpuan arah Y momen negatif dua bentang (pasal 8.3.3)

$$M_{ty} = 1/9 \times Q \times T_y^2 \quad (2.18)$$

dengan,

M_{ty} = Momen tumpuan arah Y (kg.m)

Q = Beban terkombinasi (kg/m²)

T_y = Panjang bentang tumpuan arah Y (m)

Pada analisa dan perencanaan *Half Slab* juga ditinjau dalam 3 kondisi analisa sebagai berikut :

1. Analisa *Half Slab* precast belum terpasang

Pada kondisi ini, beban yang bekerja pada pelat pracetak adalah berat sendiri elemen pracetak. (Kondisi 1)

2. Analisa *Half Slab Precast* terpasang dan beton topping dituang.

Saat pelat pracetak dipasang pada tumpuan, beban yang bekerja pada pelat pracetak adalah berat sendiri elemen pracetak, beban pekerja, dan beban beton yang dituang. (Kondisi 2)

3. Analisa *Half Slab Precast* dan *Topping* saat komposit sudah terjadi

Saat pelat pracetak dipasang pada tumpuan, beban yang bekerja pada pelat pracetak adalah berat sendiri elemen pracetak saat komposit, beban mati tambahan dan beban hidup layan yang diberi faktor (1,2DL+1,6LL). (Kondisi 3)

Menentukan batasan rasio tulangan yang akan digunakan bisa dilihat pada rumus 2.12, 2.13, dan 2.14.

Dimana, mutu beton f_c 17-28 MPa, β_1 yang digunakan harus 0,85 (pasal 10.2.7.3)

Perhitungan desain penulangan (half slab precast)

Pada perhitungan desain ini, menghitung berapa besar momen yang terjadi pada desain pelat pada bagian tumpuan dan lapangan. Setelah momen momen tersebut didapat maka baru bisa di hitung berapa tulangan rencana untuk menahan momen tersebut.

1. Perhitungan tulangan lapangan arah X *Half Slab*
 - a. Perhitungan momen lapangan arah X bisa dilihat pada rumus 2.16 (dengan nilai Q pada kondisi 3)
 - b. Perhitungan momen nominal
Perhitungan momen nominal bisa dilihat pada rumus 2.8
Dimana :
Faktor reduksi $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ; 9.3.2.1)
 - c. Mencari nilai m dan Rn bisa dilihat pada rumus 2.9 dan 2.10.
 - d. Mencari nilai ratio tulangan (ρ_{min} , ρ_{bal} , ρ_{mak} , dan ρ_{perlu}) bisa dilihat pada rumus 2.11 – 2.14.
 - e. Perhitungan tulangan dan jarak tulangan utama
 - 1) Luas tulangan perlu (Asperlu) bisa dilihat pada rumus 2.15.
 - 2) Menghitung jarak tulangan

$$S = \frac{1000}{As\ perlu / As\ tulangan} \quad (2.19)$$

dengan,

S = Jarak tulangan (mm)

Asperlu = Luas tulangan yang dibutuhkan (mm^2)

Astulangan = Luas tulangan terhitung (mm^2)

2. Perhitungan tulangan lapangan arah Y *Half Slab*
 - a. Perhitungan momen lapangan arah Y bisa dilihat pada rumus 2.17 (dengan nilai Q pada kondisi 3)
 - b. Perhitungan momen nominal
Perhitungan momen nominal bisa dilihat pada rumus 2.8
Dimana :
Faktor reduksi $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ; 9.3.2.1)
 - c. Mencari nilai m dan Rn bisa dilihat pada rumus 2.9 dan 2.10.
 - d. Mencari nilai ratio tulangan (ρ_{min} , ρ_{bal} , ρ_{mak} , dan ρ_{perlu}) bisa dilihat pada rumus 2.11 – 2.14.
 - e. Perhitungan tulangan dan jarak tulangan utama
 - 1) Luas tulangan perlu (Asperlu) bisa dilihat pada rumus 2.15.
 - 2) Menghitung jarak tulangan bisa dilihat pada rumus 2.19.

3. Perhitungan tulangan tumpuan arah Y *Half Slab*
 - a. Perhitungan momen tumpuan arah Y bisa dilihat pada rumus 2.18 (dengan nilai Q pada kondisi 2)
 - b. Perhitungan momen nominal
Perhitungan momen nominal bisa dilihat pada rumus 2.8
Dimana :
Faktor reduksi $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ; 9.3.2.1)
 - c. Mencari nilai m dan Rn bisa dilihat pada rumus 2.9 dan 2.10.
 - d. Mencari nilai ratio tulangan (ρ_{min} , ρ_{bal} , ρ_{mak} , dan ρ_{perlu}) bisa dilihat pada rumus 2.11 – 2.14.
 - e. Perhitungan tulangan dan jarak tulangan utama
 - 1) Luas tulangan perlu (A_{sperlu}) bisa dilihat pada rumus 2.15.
 - 2) Menghitung jarak tulangan bisa dilihat pada rumus 2.19.

4. Perhitungan panjang penyaluran tulangan (SNI 2847-2013, 12.5.1):

$$L_{dh} > 8d_b \quad (2.20)$$

dengan,

L_{dh} = Panjang penyaluran tarik tulangan (mm)

d_b = diameter batang tulangan (mm)

$$L_{dh} > 150 \text{ mm} \quad (2.21)$$

dengan,

L_{dh} = Panjang penyaluran tarik tulangan (mm)

d_b = diameter batang tulangan (mm)

Perhitungan desain penulangan *Topping*

Perhitungan penulangan *Topping* untuk melengkapi desain plat lantai yang mampu menahan beban total pada tahap servis.

1. Perhitungan tulangan tumpuan arah X *Topping*
 - a. Perhitungan momen tumpuan arah X bisa dilihat pada rumus 2.18 (dengan nilai Q pada kondisi 3)
 - b. Perhitungan momen nominal
Perhitungan momen nominal bisa dilihat pada rumus 2.8
Dimana :
Faktor reduksi $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ; 9.3.2.1)
 - c. Mencari nilai m dan Rn bisa dilihat pada rumus 2.9 dan 2.10.
 - d. Mencari nilai ratio tulangan (ρ_{min} , ρ_{bal} , ρ_{mak} , dan ρ_{perlu}) bisa dilihat pada rumus 2.11 – 2.14.
 - e. Perhitungan tulangan dan jarak tulangan utama
 - 1) Luas tulangan perlu (Asperlu) bisa dilihat pada rumus 2.15.
 - 2) Menghitung jarak tulangan bisa dilihat pada rumus 2.19.
2. Perhitungan tulangan susut (SNI 2847-2013 ; 7.12) :
 - a. Perhitungan tulangan susut

$$A_s = \frac{0,0018 \times 420 \times b \times h}{f_y} \quad (2.22)$$

dengan,

A_s = Luas tulangan susut (mm²)

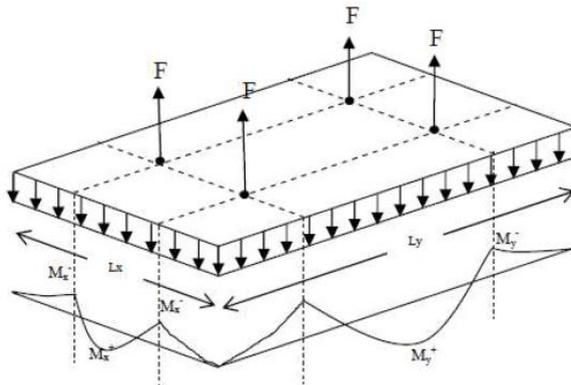
b = Lebar penampang (mm)

h = Tinggi penampang (mm)

- b. Perhitungan jarak tulangan bisa dilihat pada rumus 2.19.

Kontrol kondisi pengangkatan

Kondisi pertama adalah saat pelat pracetak diangkat dengan *Crane*. Beban yang bekerja adalah beban sendiri pelat pracetak sendiri. Pada kondisi ini, pelat yang diangkat dimodelkan seperti pelat yang menumpu diatas empat buah tumpuan. Kondisi ini direncanakan seperti dalam buku *PCI Design Handbook*. Pemodelan ini dianggap bertumpuan pada empat titik yang merupakan titik pengangkatan dan arah gaya reaksi tumpuan seperti pada gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2.14 Permodelan plat *Half Slab* saat kondisi pengangkatan
Sumber: *PCI Design Handbook* (1999)

1. Tegangan ijin untuk pengangkatan pada saat stripping, roating, dan storage.
 - a. Kuat tekan beton sesuai umur (f'_{ci}) bisa dilihat pada rumus 2.1.
 - b. Kontrol beton pada kondisi crack ($f'r$) bisa dilihat pada rumus 2.2.

2. Kontrol tegangan angkat pelat pada saat stripping

Pada proses ini merencanakan berapa titik angkat yang digunakan untuk proses pengangkatan pelat precast rencana. Pada analisa ini akan

direncanakan menggunakan (*Two Point Pick Up*) (*PCI Design Handbook* 5.2.5).

$$W = \text{koef} \times t \text{ precast} \times b_j \text{ beton bertulang} \quad (2.23)$$

dengan,

$$W = \text{Berat precast (kg)}$$

Dimana koefisien didapat dari (*PCI design* ; 5.2.1)

$b/2$ dan $15t$ dipilih yang paling kecil (*PCI design* ; 5.2.5)

Momen maksimum (x)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b \quad (2.24)$$

dengan,

$$M_x = \text{Momen maksimum (kg.m)}$$

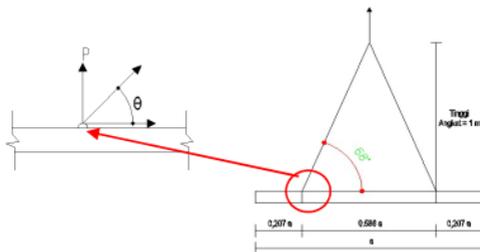
$$W = \text{Berat precast (kg)}$$

$$a = \text{Lebar (m)}$$

$$b = \text{Panjang (m)}$$

3. Kontrol akibat sudut pengangkatan

Momen akibat sudut pengangkatan arah (x) . Sudut pengangkatan dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.15 Sudut Pengangkatan Plat Precast

Sumber: *PCI Design Handbook* (1999)

Sudut yang terbentuk pada saat perencanaan digunakan untuk mencari gaya F yang terjadi. Apabila sudut yang terbentuk akibat pengangkatan tidak ada pada tabel PCI Design handbook, maka harus melakukan interpolasi untuk menentukan berapa besar gaya F.

Perhitungan untuk momen pada saat eksentris:

$$\begin{aligned} Y_c &= yt + 3'' \\ &= t/2 + 3'' \end{aligned} \quad (2.25)$$

dengan,

Y_c = Tinggi terhadap garis netral (m)

t = Tinggi penampang (m)

$$M_y = \frac{P y_c}{\tan \theta} \quad (2.26)$$

dengan,

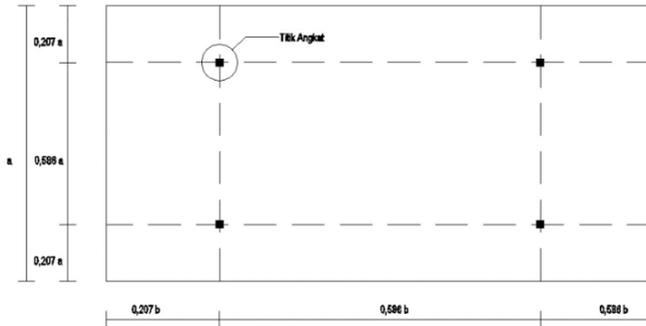
M_y = Momen (kg.m)

P = Gaya pada seling (kg)

θ = Sudut seling ($^{\circ}$)

4. Kontrol tegangan plat pada saat turning

Dimana koefisien didapat dari (PCI *Design Handbook* ; 5.2.1)



Gambar 2.16 Syarat ketentuan titik angkat

Sumber: PCI *Design Handbook* (1999)

$$\begin{aligned}\Sigma MR &= 0 \\ &= RL \times 0,586a - 1/2w \{ (0,207a + 0,586a)^2 - 0,207^2 \} \quad (2.27)\end{aligned}$$

dengan,

MR = Momen pada saat turning (kg.m)

a = Lebar *Precast* (m)

w = Berat *Precast* (kg)

Momen arah (a)

$$Ma = \frac{1}{2}w \times 0,207a^2 \quad (2.28)$$

dengan,

Ma = Momen arah a (kg.m)

a = Lebar *Precast* (m)

w = Berat *Precast* (kg)

Momen arah (b)

$$M_b \text{ maksimum} = RL/w$$
$$M_b = RL (RL/w - 0,207a) - 1/2w \times (RL/w)^2 \quad (2.29)$$

dengan,

Ma = Momen arah a (kg.m)
a = Lebar *Precast* (m)
w = Berat *Precast* (kg)

5. Analisa tulangan angkat

Analisa kekuatan angker ini digunakan untuk menentukan berapa dimensi angker yang digunakan agar mampu mengangkat beban elemen pelat pracetak pada saat pengangkatan. Analisa ini mengacu pada PCI design handbook (Fig 5.2.7)

$$W = a \times b \times \text{tinggi precast} \times \text{berat jenis beton bertulang} \quad (2.30)$$

dengan,

W = Berat *Precast* (kg.m)
a = Lebar *Precast* (m)
w = Berat *Precast* (kg)

$$T = W \times F/2 \quad (2.31)$$

dengan,

T = Berat total sling (kg)
F = Gaya pada sling (kg)

Dimana T merupakan berat total yang diterima oleh sling pada saat pengangkatan.

$$T \text{ Angker} = A_g \times f_y \times \emptyset \quad (2.32)$$

dengan,

A_g = Luasan angker (mm^2)
 f_y = Kuat tarik baja angker (MPa)
 \emptyset = Faktor reduksi

2.3.3 Analisa Struktur Plat *Steel Deck*

Plat *Steel Deck* digunakan selain sebagai bekisting permanen juga sebagai tulangan momen positif 1 arah. Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 bisa dilihat pada rumus 2.3.

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

$$M_{lx} = 0,094 \times Q \times L_x^2 \text{ (Apendix 1)} \quad (2.33)$$

dengan,

M_{lx} = Momen lapangan arah X (kg.m)
 Q = Beban kombinasi (kg)
 L_x = Lebar arah X (m)

$$M_{tx} = 0,117 \times Q \times L_x^2 \text{ (Apendix 1)} \quad (2.34)$$

dengan,

M_{tx} = Momen tumpuan arah X (kg.m)
 Q = Beban kombinasi (kg)
 L_x = Lebar arah X (m)

$$Mly = 0,094 \times Q \times Ly^2 \text{ (Apendix 1)} \quad (2.35)$$

dengan,

Mly = Momen lapangan arah Y (kg.m)

Q = Beban kombinasi (kg)

Ly = Lebar arah Y (m)

$$Mty = 0,117 \times Q \times Ly^2 \text{ (Apendix 1)} \quad (2.36)$$

dengan,

Mty = Momen tumpuan arah Y (kg.m)

Q = Beban kombinasi (kg)

Ly = Lebar arah Y (m)

Kontrol kapasitas momen steel deck sesuai dengan *W-Deck Design and Construction Manual* (2009) adalah sebagai berikut:

Momen Positif Steel Deck BMT 1,0

$$\emptyset M > Mlx \quad (2.37)$$

dengan

$\emptyset M$ = 9,73 kN/m = 973 kg.m

Mlx = Momen lapangan arah X (kg.m)

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

Momen Negatif Steel Deck BMT 1,0

$$\emptyset M > Mtx \quad (2.38)$$

Dengan,

$\emptyset M$ = 7,2 kN.m = 720 kg.m

Mtx = Momen tumpuan arah X (kg.m)

Apabila $\emptyset M > M_{tx}$ maka tidak diperlukan tulangan tumpuan arah X.

Perhitungan desain penulangan

Pada perhitungan desain ini, menghitung berapa besar momen yang terjadi pada desain pelat pada bagian tumpuan dan lapangan. Setelah momen momen tersebut didapat maka baru bisa di hitung berapa tulangan rencana untuk menahan momen tersebut.

1. Perhitungan tulangan tumpuan arah X
 - a. Perhitungan momen tumpuan arah X bisa dilihat pada rumus 2.34.
 - b. Perhitungan momen nominal
Perhitungan momen nominal bisa dilihat pada rumus 2.8
Dimana :
Faktor reduksi $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ; 9.3.2.1)
 - c. Mencari nilai m dan R_n bisa dilihat pada rumus 2.9 dan 2.10.
 - d. Mencari nilai ratio tulangan (ρ_{min} , ρ_{bal} , ρ_{mak} , dan ρ_{perlu}) bisa dilihat pada rumus 2.11 – 2.14.
 - e. Perhitungan tulangan dan jarak tulangan utama
 - 1) Luas tulangan perlu (A_{sperlu}) bisa dilihat pada rumus 2.15.
 - 2) Menghitung jarak tulangan bisa dilihat pada rumus 2.19.

2. Perhitungan tlangan lapangan arah Y
 - a. Perhitungan momen lapangan arah Y bisa dilihat pada rumus 2.35.
 - b. Perhitungan momen nominal
Perhitungan momen nominal bisa dilihat pada rumus 2.8
Dimana :
Faktor reduksi $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ; 9.3.2.1)
 - c. Mencari nilai m dan R_n bisa dilihat pada rumus 2.9 dan 2.10.
 - d. Mencari nilai ratio tulangan (ρ_{min} , ρ_{bal} , ρ_{mak} , dan ρ_{perlu}) bisa dilihat pada rumus 2.11 – 2.14.

- e. Perhitungan tulangan dan jarak tulangan utama
 - 3) Luas tulangan perlu (Asperlu) bisa dilihat pada rumus 2.15.
 - 4) Menghitung jarak tulangan bisa dilihat pada rumus 2.19.
3. Perhitungan tulangan tumpuan arah Y
- a. Perhitungan momen tumpuan arah Y bisa dilihat pada rumus 2.36.
 - b. Perhitungan momen nominal
Perhitungan momen nominal bisa dilihat pada rumus 2.8
Dimana :
Faktor reduksi $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ; 9.3.2.1)
 - c. Mencari nilai m dan Rn bisa dilihat pada rumus 2.9 dan 2.10.
 - d. Mencari nilai ratio tulangan (ρ_{min} , ρ_{bal} , ρ_{mak} , dan ρ_{perlu}) bisa dilihat pada rumus 2.11 – 2.14.
 - e. Perhitungan tulangan dan jarak tulangan utama
 - 5) Luas tulangan perlu (Asperlu) bisa dilihat pada rumus 2.15.
 - 6) Menghitung jarak tulangan bisa dilihat pada rumus 2.19.

2.4 Metode Pelaksanaan

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

2.4.1 Pemilihan Type dan Penempatan Tower Crane

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan dan penempatan Tower Crane :

1. Kapasitas/kemampuan angkut maksimum tower crane
2. Penempatan tower crane harus bisa menjangkau seluruh area kerja dan area fabrikasi
3. Tipe atau jenis tower crane
4. Jumlah dan ketersediaan alat di pasaran
5. Posisi dari Counter Weight harus aman dari permukiman warga

Penentuan titik angkat dapat dilihat pada sub bab berikutnya. Berat elemen pracetak maupun material yang diangkat harus menyesuaikan dengan kemampuan angkat tower crane. Panjang lengan (jib length) tower crane harus menjangkau terhadap seluruh area pekerjaan dan area fabrikasi material.

2.4.2 Zoning Area Pekerjaan

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

1. Luasan area terlalu luas sehingga perlu dibagi zoning
2. Grup/Tim pekerja yang berbeda
3. Jangkauan dari alat berat misal tower crane atau mobile crane
4. Urutan pelaksanaan pekerjaan (sequence)

2.5 Perhitungan Durasi Pelaksanaan (Teori Produktifitas)

Perhitungan waktu pelaksanaan ini dilakukan setelah didapatkan hasil analisa struktur balok *U-Shell* dan *Half Slab* serta perhitungan volume. Adapun dasar teori untuk menghitung durasi waktu peralatan mengacu pada Teori Produktifitas sebagai berikut:

$$Q_e = q \times N \times E_k = q \times 60/WS \times E \quad (2.39)$$

dengan,

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

Sehingga didapatkan ,

$$D = V / Q_e \quad (2.40)$$

dengan,

D = durasi pekerjaan (jam/hari/bulan)

V = volume (m³, m², kg, buah, dll)

Q_e = kapasitas produksi (m³/jam, m²/jam dll)

2.5.1 Durasi Pembesian

Durasi pembesian ini dihitung berdasarkan waktu untuk membuat bengkakan, kaitan, potongan, dan pemasangan. Rumus perhitungan durasi yang dibutuhkan tenaga kerja untuk membuat bengkakan, kaitan, memotong, dan pemasangan adalah sebagai berikut:

1. Durasi memotong

$$\text{Durasi (jam)} = \frac{\text{Jumlah Tulangan}}{\text{Kapasitas Produksi}} \quad (2.41)$$

2. Durasi bengkakan dengan mesin

$$\text{Durasi (jam)} = \frac{\text{Jumlah Bengkokan}}{\text{Kapasitas Produksi}} \quad (2.42)$$

3. Durasi membuat kaitan

$$\text{Durasi (jam)} = \frac{\text{Jumlah Kaitan}}{\text{Kapasitas Produksi}} \quad (2.43)$$

4. Durasi pemasangan tulangan

$$\text{Durasi (jam)} = \frac{\text{Jumlah Tulangan}}{\text{Kapasitas Produksi}} \quad (2.44)$$

Jumlah jam kerja dalam 1 hari adalah 8 jam, maka untuk perhitungan durasi per hari menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Durasi (hari)} = \frac{\text{Jumlah Durasi}}{8 \text{ Jam} \times \text{jumlah grup}} \quad (2.45)$$

Untuk pemotongan besi beton diperlukan waktu antara 1 sampai 3 jam untuk 100 batang tulangan tergantung dari diameter besi, alat yang digunakan, dan keterampilan tenaganya.

Tabel 2.1 Jam kerja tenaga yang dibutuhkan untuk membuat 100 bengkokan dan kaitan

Dia. Besi Beton	Dengan Tangan		Dengan Mesin	
	Bengkokan (jam)	Kait (jam)	Bengkokan (jam)	Kait (jam)
12 mm	2-4	3-6	0,8-1,5	1,2 - 2,5
16 mm	2,5-5	4-8	1-2	1,6 - 3
19 mm				
22 mm				
25 mm	3-6	5-10	1,2 - 2,5	2 - 4
31,75 mm	4-7	6-12	1,5 - 3	2,5 - 5

Sumber: Soedrajat (1994)

Tabel 2.2 Jam kerja tenaga yang dibutuhkan untuk memasang 100 batang tulangan

Dia. Besi Beton	Panjang Batang Tulangan		
	Dibawah 3m	3 – 6 m	6 -9 m
12 mm	3,5 - 6	5 - 7	6 - 8
16 mm	4,5 - 7	6 – 8,5	7 – 9,5
19 mm			
22 mm			
25 mm	5,5 - 8	7 - 10	8,5 – 11,5
31,75 mm	6,5 - 9	8 - 12	10 - 14

Sumber: Soedrajat (1994)

Kapasitas produksi pekerjaan pembesian pada setiap tabel diambil nilai rata-ratanya, sedangkan untuk 1 grup kerja pekerjaan pembesian terdiri dari 1 mandor dan 3 tukang besi.

2.5.2 Durasi Pengecoran

Durasi pengecoran disesuaikan dengan digunakan terhadap pelaksanaan antara lain:

1. Concrete Pump

Concrete pump yang digunakan type beroda sehingga memudahkan dalam berpindah-pindah tempat. Jenis concrete pump yang digunakan adalah Super Long Boom yang memiliki jangkauan mencukupi sehingga memudahkan pada saat pengecoran. Gambar concrete pump bisa dilihat pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.17 Concrete Pump Zoomlion 43X-5RZ
Sumber: Brosur Zoomlion (2016)

2. Truck Mixer

Truck mixer yang digunakan sesuai dengan ketersediaan pihak supplier beton. Adapun gambar truck mixer bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



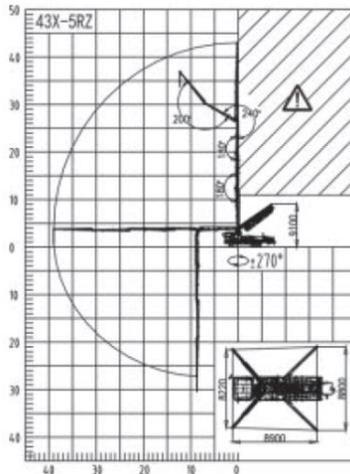
Gambar 2.18 Truck Mixer
Sumber: Juklak PT. PP Persero (2014)

Spesifikasi Concrete Pump bisa dilihat pada gambar dan tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Spesifikasi Concrete Pump Zoomlion 43X-RZ

Model	Zoomlion 43X-RZ	
Item		
Pumping Unit		
Max. theoretical output	140/90	m ³ /h
Max. theoretical pressure on concrete	11/7	MPa
Rated working pressure	35	Mpa
Pumping Frequency	27/17	min ⁻¹
Concrete cylinder (diam.x stroke)	Ø 230 x 2100	mm
Boom Kit		
Structure type	43X-5RZ	
Max. placing span (vertikalxhorizontalxdeep)	43/39/30,5	m
Min. unfolding height	9.1	m
Outriggers span (frontxrearxside)	8,22x8,8x8,9	m
Rotating angle	± 270	°

Sumber: Brosur Zoomlion (2016)



Gambar 2.19 Dimensi dan placing area

Sumber: Brosur Zoomlion (2016)

Pengecoran dalam metode pelaksanaan dilakukan setelah balok *U-Shell* dan *Half Slab* dan pembesian topping terpasang. Pengecoran untuk area gedung lt. 4 – 11 masih dapat menggunakan concrete pump. Pekerjaan pengecoran memerlukan waktu yang terdiri dari beberapa tahapan. Perhitungan kapasitas produksi pengecoran sesuai dengan panjang pipa pengecoran yang digunakan, sesuai dengan spesifikasi concrete pump yang tertera pada tabel 2.4 adalah sebagai berikut:

Vertikal placing = 43 m (tabel 2.4)

Delivery capacity (DC) = 90 m³/jam (tabel 2.4)

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

1. Faktor Cuaca

Kondisi = terang, panas, berdebu

Nilai = 0,83

2. Faktor operator dan mekanik

Kondisi = cukup

Nilai = 0,7

3. Faktor operasi alat dan pemeliharaan mesin

Kondisi = baik

Nilai = 0,75

Rumus perhitungan kapasitas produksi

$$Q_e = DC \times E_k \quad (2.46)$$

dengan,

Q_e = Kapasitas produksi (m³/jam)

DC = Delivery Capacity (90m³/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 terdiri dari :

- a. Pengaturan posisi truck mixer dan concrete pump= 10 menit
- b. Pemasangan pompa = 25 menit
- c. Idle time (waktu tunggu) pompa = 10 menit

Maka total waktu persiapan pengecoran kurang lebih adalah 45 menit.

2. Waktu tambahan persiapan

Waktu tambahan persiapan terdiri dari:

- a. Pergantian truck mixer apabila pengecoran membutuhkan lebih dari 1 truck mixer = jumlah truck mixer x 3 menit/truck mixer
- b. Waktu untuk pengujian slump dan pengambilan benda uji = jumlah truck mixer x 5 menit/truck mixer
- c. Waktu operasional pengecoran
- d. Waktu operasional adalah waktu pada saat pengecoran itu berlangsung. Berikut rumus untuk menghitung waktu pengecoran:

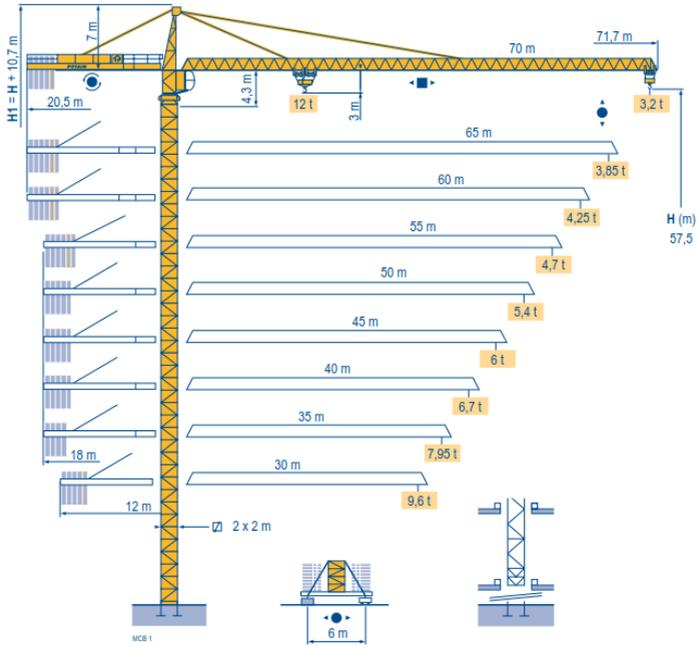
$$\text{Durasi (t)} = \text{volume (m}^3\text{)} / \text{kapasitas produksi (m}^3\text{/jam)} \quad (2.47)$$

Sehingga didapatkan:

$$\text{Total waktu} = \text{persiapan} + \text{persiapan tambahan} + \text{waktu operasional pengecoran.} \quad (2.48)$$

2.5.3 Durasi Erection Balok *U-Shell* dan *Half Slab*

Alat yang digunakan untuk erection atau pengangkatan material balok *U-Shell* dan *Half Slab* yaitu menggunakan *Static Tower Crane*. Adapun merk dan spesifikasi dari *Tower Crane* bisa dilihat pada gambar dan tabel dibawah ini:



Gambar 2.20 Tower Crane Potain MC 310 K12

Sumber: Brosur Manitowoc (2009)

Tabel 2.4 Spesifikasi Tower Crane Potain MC 310 K12

Type	MC 310 K12	
Boom Length	3,1 - 70	m
Counter Jib	20,5	m
Maximum Lifting Capacity	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 (2009)

1. Waktu Siklus (Cycle Time)

Waktu siklus (Cycle Time) adalah waktu yang dibutuhkan oleh 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 oleh tower crane
- d. Tinggi lantai
- e. Waktu yang dibutuhkan untuk memuat, mengangkat, berputar, menurunkan, dan membongkar muatan
- f. Waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke posisi semula

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

a. Waktu muat (tabel 2.6)

b. Waktu hoisting (angkat)

$$t = d / v \quad (2.49)$$

dengan,

t = waktu hoisting (menit)

v = kecepatan hoisting (m/menit)

d = tinggi hoisting (meter)

c. Waktu Trolleying (Trolley jalan)

$$t = d / v \quad (2.50)$$

dengan,

t = waktu trolleying (menit)

v = kecepatan trolleying (m/menit)

d = panjang trolleying (meter)

d. Waktu Slewing (berputar)

$$t = \alpha / v \quad (2.51)$$

dengan,

v = kecepatan hoisting ($^{\circ}$ /menit)

α = sudut slewing ($^{\circ}$)

t = waktu slewing (menit)

e. Waktu Landing (turun)

$$t = d / v \quad (2.52)$$

dengan,

v = kecepatan landing (m/menit)

d = tinggi landing (meter)

t = waktu landing (menit)

f. Waktu bongkar dan pasang (tabel 2.6)

2. Waktu Bongkar dan Muat

Waktu yang dibutuhkan tenaga untuk proses memuat dan membongkar muatan dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.5 Waktu muat dan bongkar muatan

No	Pekerjaan	Waktu Muat (menit)	Waktu Bongkar (menit)
1	Scaffolding	3	5
2	Pipe Support	3	5
3	Bekisting	3	5
4	Besi beton	5	7
5	Fabrikasi kolom	3	5
6	Profil baja	5	7
7	Precast dinding	3	6

Sumber : Informasi dan pengamatan di proyek (2017)

3. Kapasitas Angkut Tower Crane (1 kali pengangkutan)

Kapasitas angkut material adalah kapasitas ukuran, volume, dan berat material yang dijadikan pedoman pada saat pengangkutan tower crane untuk satu kali pengangkutan. Kapasitas angkutan material dalam satu kali pengangkutan dapat dilihat pada tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2.6 Kapasitas angkutan material

No	Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Berat (kg)	Total Berat (kg)
1	Besi beton	200	Btg	7,3947	1.478,94
2	Precast dinding	1	Bh	*Var	*Var
3	Balok <i>U-Shell</i>	1	Bh	*Var	*Var
4	Plat <i>Half Slab</i>	1	Bh	*Var	*Var

Sumber : Informasi dan pengamatan di proyek, 2017

4. Faktor Koreksi Kondisi Kerja

Faktor koreksi kondisi kerja (Fk) yang merupakan suatu faktor yang memperhitungkan pengaruh unsur yang berkaitan dengan mesin, manusia, dan keadaan cuaca. Faktor koreksi kondisi kerja dapat dilihat pada tabel 2.8 dibawah ini.

Tabel 2.7 Faktor kondisi 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 2.8 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 2.9 Faktor keadaan cuaca

No	Keadaan Cuaca	Faktor Koreksi
1	Cerah	1,00
2	Berdebu, Hujan, Gelap	0,80

Sumber : Rochmanhadi (1992)

7. Faktor Keterampilan Operator

Tabel 2.10 Faktor keterampilan 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 U-Shell* dan *Half Slab*

Produktivitas 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. Perumusan produktivitas sebagai berikut:

$$Q_e = q \times 60 / WS \times E \quad (2.53)$$

dengan,

- Q_e = kapasitas produksi (buah per jam)
- q = kemampuan produksi alat dalam satu siklus (buah)
- WS = waktu siklus peralatan (dalam menit)
- E = efisiensi kerja

9. Durasi Pekerjaan

Durasi pekerjaan adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan. Perumusan untuk durasi pekerjaan adalah sebagai berikut:

$$D = V / Q_e \quad (2.54)$$

dengan,

- D = durasi pekerjaan (per jam)
- V = volume (bh)
- Q_e = kapasitas produksi (bh/jam)

2.6 Metode Penjadwalan *Time Schedule* dan *Resource Schedule*

2.6.1 *Time Schedule* dengan *Precedence Diagram Method* (PDM)

Metode penjadwalan dengan *Precedence Diagram Method* ini dikembangkan untuk mengendalikan sejumlah besar kegiatan yang memiliki ketergantungan yang kompleks (Husen,A.2011). Metode ini relatif lebih detail, hubungan antar kegiatan jelas, dan dapat memperlihatkan kegiatan kritis. Tahapan penyusunannya adalah sebagai berikut:

1. Menginventarisasi kegiatan-kegiatan dari paket WBS berdasarkan item pekerjaan.
2. Memperkirakan durasi setiap kegiatan dengan mempertimbangkan jenis pekerjaan, volume pekerjaan, jumlah sumber daya, lingkungan kerja, serta produktivitas pekerja.

3. Penentuan logika ketergantungan antar kegiatan dilakukan dengan tiga kemungkinan hubungan, yaitu kegiatan yang mendahului (predecessor) ,kegiatan yang didahului (successor) serta bebas.
4. Perhitungan analisis waktu serta alokasi sumber daya, dilakukan setelah langkah-langkah di atas dilakukan dengan akurat dan teliti.

Dalam penyusunan Network Planning dengan metode *Precedence Diagram Methode* (PDM) dilakukan dengan cara mengatur konstrain atau hubungan dari setiap pekerjaan. Pengaturan ini akan menentukan schedule pelaksanaan pekerjaan. Metode PDM biasa diterapkan pada software *Microsoft Project*.

Hubungan keterkaitan antar kegiatan/pekerjaan *Precedence Diagram Methode* adalah sebagai berikut:

1. FS (*Finish to Start*) : Mulainya suatu kegiatan bergantung pada selesainya kegiatan pendahulunya, dengan waktu mendahului lead.
2. SS (*Start to Start*) : Mulainya suatu kegiatan bergantung pada mulainya kegiatan pendahulunya, dengan waktu tunggu lag.
3. FF (*Finish to Finish*) : Selesainya suatu kegiatan bergantung pada selesai kegiatan pendahulunya, dengan waktu mendahului lead.
4. SF (*Start to Finish*) : Selesainya suatu kegiatan bergantung pada mulainya kegiatan pendahulunya, dengan waktu tunggu lag.

Tabel 2.11 Data analisis network planning untuk PDM

No	Uraian Kegiatan	Durasi	Predecessor

Sumber: Husen A. (2011)

2.6.2 Resource Schedule

Penjadwalan sumber daya seperti tenaga kerja, peralatan, material dan modal/biaya dapat merupakan bagian dan master schedule atau dapat juga sebagai bagian yang terpisah darinya sebagai subschedule.

Untuk proyek yang cukup kompleks, pemilahan schedule sumber daya dari master schedule, dengan detailnya dilakukan pada subschedule, adalah langkah terbaik untuk memudahkan monitoring. Tujuan penjadwalan sumber daya adalah memastikan jumlah atau jenis sumber daya dapat diketahui sejak awal dan tersedia bila dibutuhkan. Tetapi bila ketersediaan sumber daya terbatas maka biasanya durasi proyek menjadi lebih lambat dari yang direncanakan. Sebaliknya, dengan menambah jumlah sumber daya, durasi proyek dapat dipercepat.

Selain itu, ada 4 aturan yang dapat diterapkan pada penjadwalan proyek dalam hubungannya dengan lokasi sumber daya yang terbatas yaitu:

1. Memprioritaskan kegiatan yang mempunyai batasan kegiatan-kegiatan dengan sumber daya maksimum, lalu dilakukan penjadwalan terhadap kegiatan tersebut dengan basis kontinyu.
2. Memprioritaskan pada kegiatan kritis atau mendekati kritis dengan total float paling rendah, lalu dilakukan penjadwalan terhadap kegiatan tersebut dengan cara basis kontinyu.
3. Memprioritaskan pada kegiatan yang mempunyai durasi paling pendek, lalu dilakukan penjadwalan terhadap kegiatan tersebut dengan cara basis kontinyu.
4. Setelah salah satu dari 3 aturan diatas terpenuhi, dilakukan pada kegiatan dengan prioritas rendah dengan cara basis terputus, kemudian dilakukan interupsi oleh kegiatan yang lebih tinggi prioritasnya.

2.6.3 Tahap Input Data ke MS Project

Penyusunan metode pelaksanaan dengan alat bantu Microsoft Project dilakukan setelah perhitungan durasi pada tiap pekerjaan selesai. Penyusunan schedule dengan alat bantu Microsoft Project mengacu pada

Precedence Diagram Method (PDM) atau pembuatan *Network Planning* dengan mengatur konstrain dari setiap pekerjaan. Pengaturan inilah yang menentukan berapa lama waktu pelaksanaan pekerjaan.

2.7 Perhitungan Biaya Pekerjaan

Menurut Ibrahim (1994) Rencana Anggaran Biaya suatu bangunan atau proyek adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja serta biaya-biaya lainnya yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Rumus perhitungan biaya suatu pekerjaan adalah sebagai berikut:

Jumlah biaya pekerjaan = volume x harga satuan (hasil analisa) (2.55)

2.7.1 Perhitungan Volume Pekerjaan

Hasil perhitungan volume pekerjaan nantinya akan digunakan untuk menghitung durasi dan biaya yang dikeluarkan. Berikut adalah dasar teori untuk perhitungan volume pekerjaan setelah desain lama digantikan dengan design alternatif yaitu balok *U-Shell* dan *Half Slab* precast:

1. Perhitungan Volume *U-Shell*, *Half Slab*, dan *Steel Deck*

Perhitungan volume *U-Shell*, *Half Slab*, dan *Steel Deck* pracetak dilakukan dengan merekap data perencanaan yang sudah dilakukan sebelumnya dan menghitung jumlah elemen *U-Shell*, *Half Slab*, dan luasan *Steel Deck* total yang dibutuhkan. Hasil dari perhitungan volume nantinya digunakan untuk menghitung durasi pekerjaan dan anggaran biaya.

2. Perhitungan Volume Beton (*Topping*)

Perhitungan volume beton *Topping* cor yang berada diatas *U-Shell*, *Half Slab*, dan *Steel Deck*, dengan mengalikan antara panjang (p), lebar (l), dan tebal topping (t) dalam satuan m³.

3. Volume pembesian

Volume pembesian dihitung dengan cara menghitung kebutuhan tulangan pada struktur topping dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volume besi} = \text{panjang besi} \times \text{jumlah} \times \text{bj tulangan besi} \quad (2.56)$$

2.7.2 Harga Satuan

Harga satuan adalah harga per satuan tenaga (orang/hari), material (/m³, /m², /kg, /m', /lembar, /buah, /unit, dll), dan peralatan (/jam, /hari,/bulan,dll). Harga satuan dibagi menjadi 3 yaitu harga satuan upah tenaga, harga satuan material, dan harga satuan alat. Harga satuan untuk perhitungan biaya pada skripsi ini menggunakan harga satuan dari pihak kontraktor PT. PP Persero Tbk. Berikut ini adalah harga satuan yang didapatkan dari pihak kontraktor PT. PP Persero Tbk:

1. Harga Satuan Upah

- a. Mandor = Rp. 110.000,- per hari
- b. Kepala Tukang = Rp. 100.000,- per hari
- c. Tukang = Rp. 90.000,- per hari
- d. Pekerja = Rp. 80.000,- per hari
- e. Operator = Rp. 120.000,- per hari
- f. Pembantu Operator = Rp. 100.000,- per hari

2. Harga Satuan Material

- a. Besi Beton = Rp. 7.140,- per kg
- b. Kawat Bendrat = Rp. 15.930,- per kg
- c. Hollow 50.50.3 = Rp. 9.875,- per kg
- d. Phenol Film 12mm = Rp. 128.900,- per lembar
- e. Minyak Bekisting = Rp. 30.100,- per liter
- f. Plat 6mm = Rp. 9.875,- per kg
- g. Bolt Ø12mm (10-15cm) = Rp. 22.500,- per bh
- h. Beton K-350 = Rp. 817.500,- per m³

3. Harga Satuan Sewa Alat

- a. Concrete Pump = Rp. 7.500.000,-per 3 jam
- b. Tower Crane = Rp. 80.000.000,- per bulan
- c. Erection & Dismantling TC = Rp. 80.000.000,- per bulan
(konversi)
- d. Mob & Demob TC = Rp. 80.000.000,- per bulan
(konversi)
- e. Listrik TC = Rp. 30.000.000,- per bulan
- f. Asuransi TC = Rp. 2.000.000,- per bulan
- g. Pipe Support = Rp. 15.000,- per set

2.7.3 Analisa Harga Satuan

Sebelum menghitung analisa harga satuan dilakukan terlebih dahulu menghitung biaya pelaksanaan dengan rumus sebagai berikut:

1. Biaya upah tenaga kerja

Biaya upah = jumlah tenaga x durasi x harga satuan upah (2.57)

2. Biaya bahan material

Biaya bahan = volume material x harga satuan material (2.58)

3. Biaya peralatan

Biaya peralatan = durasi x harga satuan sewa alat (2.59)

Apabila perhitungan biaya pelaksanaan selesai, maka harga satuan biaya pelaksanaan dapat diketahui tiap pekerjaannya dengan rumus sebagai berikut:

Harga satuan pelaksanaan = Harga total tiap pekerjaan / volume (2.60)

Harga satuan pada skripsi ini menggunakan harga satuan dari kontraktor pelaksana yaitu PT. PP Persero Tbk (terlampir). Namun untuk harga satuan erection balok *U-Shell* dan plat *Half Slab* dilakukan perhitungan tersendiri.