

**Perbandingan Analisis Struktur dan Efisiensi Biaya
Struktur *Slab on Pile* Menggunakan Metode
Precast Half-Slab dan Metode *Monolite*,
Serta Kombinasi Mutu Beton *Slab on Pile*
(Studi Kasus Jembatan Perawang)**

**Comparison Structural Analysis and Cost Efficiency of Slab on Pile Using
Precast Half-Slab Method, Monolite Method, and Combination of Concrete
(Case Study is Perawang Bridge)**

Mahadi Kurniawan

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

Jl.Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru-28284

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa struktur *Slab on Pile* jembatan bentang panjang dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* baik dari segi teknis maupun efisiensi struktur pekerjaannya. Tujuan lain penelitian ini adalah untuk memperkenalkan perkembangan teknologi bidang Teknik Sipil yang berorientasi pada metode kemudahan pekerjaan dilapangan sehingga pekerjaan *Slab on Pile* jembatan bentang panjang dapat berjalan efektif dan efisien. Studi kasus pada penelitian ini adalah proyek pembangunan Jembatan Perawang, Kabupaten Siak Sri Indrapura Provinsi Riau. Diharapkan penelitian ini akan memberikan manfaat sebagai bahan referensi untuk penggunaan metode *Precast Half-Slab* pada pekerjaan *Slab on Pile* atau plat lantai jembatan bentang panjang. Penelitian ini dilakukan pada *Slab on Pile* dengan panjang 40 m. Tiap satu segmen plat berukuran panjang 4,44 m, lebar 3 m dan tebal 0,25 m. Mutu beton yang digunakan adalah K-500 dan K-400. Selanjutnya metode *Precast Half-Slab* ini dibandingkan dengan pekerjaan *Slab on Pile* dengan menggunakan metode *Monolite* pada proyek pembangunan Jembatan Perawang. Analisa teknis struktur dilakukan terhadap plat dan balok. Pada metode *Precast Half-Slab* ini diperhitungkan mekanisme tulangan angkat dan mekanisme sambungan plat yaitu *shear connector*. Sedangkan analisa efisiensi struktur dilakukan terhadap waktu dan biaya. Hasil analisa menunjukkan bahwa pekerjaan *Slab on Pile* dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* ini ditinjau dari aspek teknis jauh lebih efektif dibandingkan dengan metode *Monolite* karena dalam pekerjaannya tidak membutuhkan *shoring* sebagai perancah dan bekisting untuk mencetak plat betonnya. Efisiensi waktu pekerjaan metode *Precast Half-Slab* adalah sebesar 175% dibandingkan dengan metode *Monolite*. Sedangkan efisiensi biaya pekerjaan metode *Precast Half-Slab* adalah sebesar 18,80 %. Namun untuk lebih ekonomis lagi dikombinasi mutu beton pada plat yaitu mutu beton K-500 untuk plat *precast* dan mutu beton K-400 untuk plat *cast-in-situ* dengan efisiensi biaya sebesar 22,80 %.

Kata kunci : *Precast Half-Slab*, *Slab On Pile*, jembatan bentang panjang, analisa teknis dan efisiensi struktur

Abstract

The purpose of this research is to analyze the structure of *Slab On Pile* of long span bridge by using *Precast Half-Slab* method in terms of techniques and structure efficiency. Another purpose of the research is to introduce the development of technology in *Civil Engineering* that is oriented on the easyness of working in the field, so that the working of *Slab On Pile* long span bridge becomes more effective and efficient. The case study of this research is the project of Perawang Bridge in Siak Sri

Indrapura Regency Riau Province. Hopefully the results of the research will become a valuable reference on the use of *Precast Half-Slab* method on the *Slab On Pile* work on long span bridge. This research was done on 40 meters of *Slab On Pile*. Each segment of *Slab On Pile* has a dimension : 4.44 m in length, 3 m in width and 0.25 m in height. The qualities of concrete used are K-500 and K-400. Then the method of *Precast Half-Slab* on *Slab On Pile* is compared to *Monolite* method on *Slab On Pile* of Perawang Bridge. Structure analysis was done on slab and beams. In the use of *Precast Half-Slab*, the mechanism of lifting reinforcing and shear connector are considered. While structure efficiency analysis is seen from time and financial. The results of the analysis show that *Slab On Pile* by using *Precast Half-Slab* method is more effective in term of technical aspects than using *Monolite* method. This is happen because the work by using *Precast Half-Slab* method didn't need shoring as scaffolding and formwork to mold concrete plat. Analysis of efficiency also mentions that using *Precast Half-Slab* method is more efficient in term of time and financial than using *Monolite* method. The final efficiency of using *Precast Half-Slab* method may up to 18.80 % if it is compared to using *Monolite* method. To be more economic the combination of concrete, K-500 for *precast* and K-400 for *cast-in-situ*, as much as 22.80 %.

Keywords : *Precast Half-Slab, Slab on Pile, long span bridge, technical analysis and structure efficiency*

PENDAHULUAN

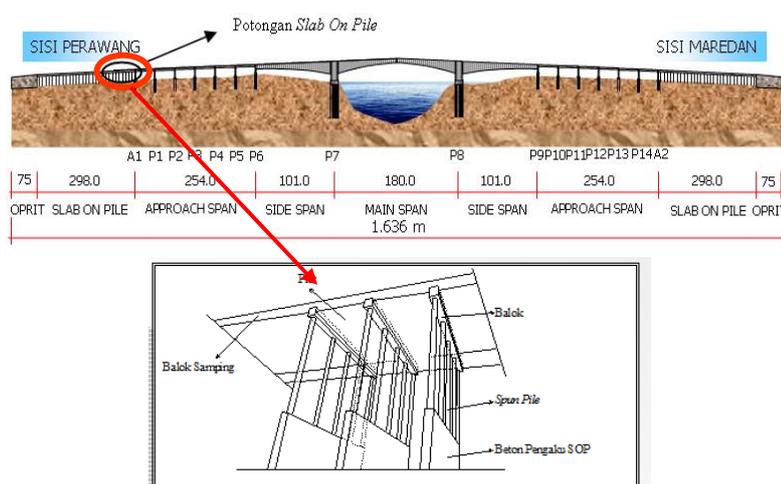
Metode *Precast Half-Slab* adalah metode pekerjaan plat lantai dimana pada struktur plat terbagi dua, yaitu bagian bawahnya menggunakan plat *precast* dan bagian atasnya menggunakan plat *cast-in-situ*. Plat *precast* disini berfungsi sebagai bekisting permanen untuk plat lantai yang berfungsi sebagai penopang plat *cast-in-situ* sehingga dalam pengerjaannya tidak lagi menggunakan perancah (*shoring*) sebagai bekisting betonnya. Pada dasarnya perencanaan plat dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* ini sama dengan perencanaan plat dengan menggunakan metode *Monolite* atau konvensional sebagaimana yang dilakukan pada proyek pembangunan Jembatan Perawang. Namun yang membedakannya adalah pada perencanaan plat dengan metode *Precast Half-Slab* ini harus memperhitungkan kondisi dan metode pengangkatan beton pada saat umur beton masih muda, sehingga dengan kondisi tersebut harus diperhitungkan metode pengangkatan dan kapasitas tulangan angkat sehingga mencegah terjadinya retak (*crack*) pada plat tersebut. Pada desain plat *precast* ini juga diperhitungkan analisa sambungan pada plat dan balok. Sambungan ini biasa disebut dengan *Shear Connector*. Selain itu harus diperhitungkan juga beban-beban dominan yang akan bekerja pada struktur plat sehingga dapat dipikul oleh komponen *Slab On Pile* tersebut. Oleh karena itu dalam metode *Precast Half-Slab* dibutuhkan analisa dan desain tersendiri yang tidak diperhitungkan dalam menganalisa beton secara *Monolite* atau konvensional. Dalam konteks tersebut maka fungsi dari metode *Precast Half-Slab* ini adalah sebagai komponen struktur yaitu struktur plat komposit sehingga perlu ditinjau dari segi analisa teknis dan efisiensi strukturnya.

Berdasarkan keadaan tersebut, mendorong peneliti untuk meneliti dan mengkaji perilaku struktur pada konstruksi *Slab On Pile* jembatan bentang panjang dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* sehingga diketahui suatu perubahan perilaku struktur pada saat plat belum menjadi komposit dan setelah plat menjadi komposit, dibandingkan dengan pekerjaan konstruksi *Slab On Pile* dengan menggunakan metode *Monolite* atau konvensional seperti pada proyek pembangunan Jembatan Perawang. Selain mengkaji dan menganalisa perilaku strukturnya, peneliti juga akan

mengkaji dan menganalisa efisiensi pekerjaan *Slab On Pile* jembatan dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* ini dari segi biaya pelaksanaan pekerjaannya.

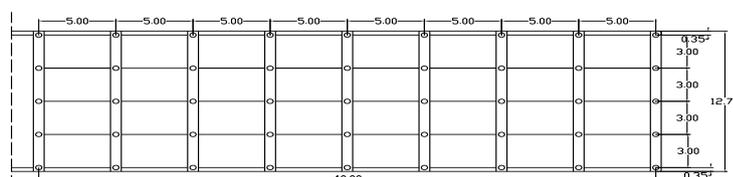
RUMUSAN MASALAH

Studi kasus pada penelitian ini adalah proyek Jembatan Perawang, Kabupaten Siak Sri Indrapura, Provinsi Riau sebagaimana terlihat pada Gambar 1 :

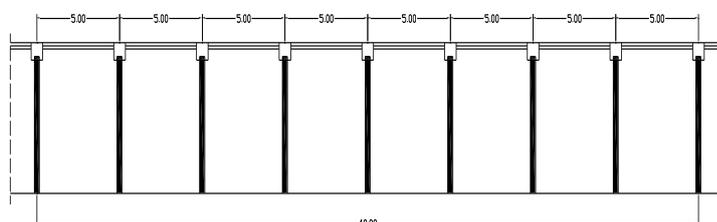


Gambar 1. Slab on Pile Jembatan Perawang.

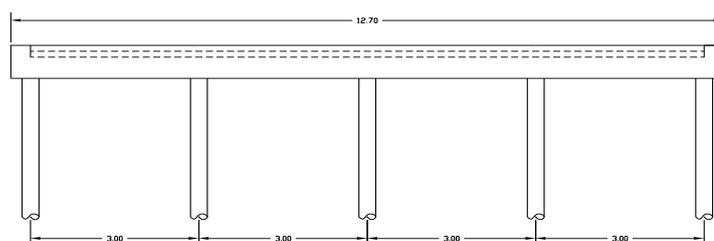
Tebal (t) struktur plat yang direncanakan adalah 0,25 m, bentangan satu segmen arah melintang (s) yang direncanakan adalah 3 m dan bentangan satu segmen arah memanjang (L) yang direncanakan adalah 5 m. Mutu beton yang digunakan adalah K-500.



Gambar 2. Tampak Atas Slab On Pile.



Gambar 3. Potongan Memanjang Slab On Pile.



Gambar 4. Potongan Melintang Slab On Pile.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini disusun dengan tujuan sebagai berikut :

- mengkaji dan menganalisa perilaku struktur plat dan balok pada *Slab On Pile* jembatan dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* sehingga diketahui perbandingan perilaku struktur plat dan balok pada *Slab On Pile* jembatan dengan menggunakan metode *Monolitee* atau Konvensional,
- mengkaji dan menganalisa efisiensi biaya pekerjaan *Slab On Pile* dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* dibandingkan dengan metode *Monolite* atau konvensional serta metode kombinasi mutu beton.

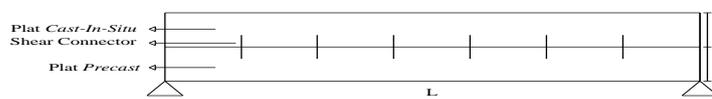
LANDASAN TEORI.

1. Metode *Precast Half-Slab*.

Prinsip pekerjaan pada metode *Precast Half-Slab* ini adalah pekerjaan konstruksi plat lantai dimana pada bagian bawahnya menggunakan plat *precast* dan bagian atasnya menggunakan plat *cast-in-situ*. Plat *precast* disini berfungsi sebagai bekisting permanen untuk lantai sehingga dalam pengerjaannya tidak menggunakan perancah (*shoring*) untuk menopang bekisting betonnya.

Plat *precast* pada penelitian ini bukan plat yang dibuat di pabrik (bukan pabrikasi), melainkan plat yang dibuat sendiri oleh kontraktor, sehingga pada desain plat harus memperhitungkan kondisi dan metode pengangkatan beton pada saat umur beton masih muda, sehingga tidak mengakibatkan retak (*crack*) pada plat tersebut.

Selain itu harus diperhitungkan pula sambungan antara plat *precast* dan plat *cast-in-situ* serta sambungan antara balok *stage 1* dengan balok *stage 2*. Sambungan ini biasa disebut *shear connector*, yaitu berupa besi tulangan yang menonjol diatas *precast* dan balok *stage 1* yang berfungsi sebagai pengikat antara plat *precast* dengan plat *cast-in-situ* serta balok *stage 1* dengan balok *stage 2* sehingga struktur plat dan balok dapat menyatu menjadi struktur komposit.



Gambar 5. Slab Metode *Precast Half-Slab*.

Dalam perencanaan serta perhitungan plat *precast* ini ditinjau dalam 3 kondisi [7], yaitu :

- Kondisi Pengangkatan.
Saat pengangkatan masing-masing tipe plat (*precast* dan *cast-in-situ*) diasumsikan ditumpu oleh dua perletakan sendi-sendii pada titik angkatnya.
- Kondisi Sebelum Komposit.

Untuk kondisi sebelum komposit diasumsikan ditumpu oleh perletakan lebih dari dua sendi (sendi banyak) karena pada saat kondisi ini plat ditumpu oleh *scaffolding*.

c. Kondisi Sesudah Komposit.

Pada kondisi ini perletakan plat diasumsikan terjepit elastis.

2. Pembebanan Pada Slab On Pile.

Berdasarkan peraturan *Bridge Management System* (BMS 1992)[4], beban-beban yang bekerja pada *Slab On Pile* Jembatan adalah sebagai berikut (Bambang Supriyadi,2007)[8] :

a. Beban Mati.

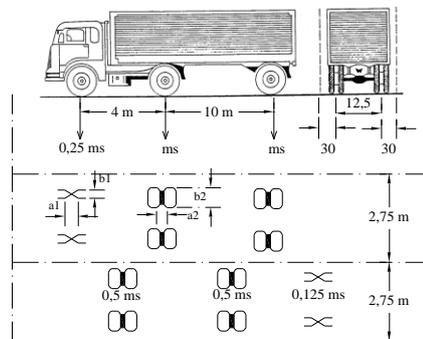
Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur serta berat benda-benda nonstruktural seperti pipa, peralatan listrik dan sebagainya yang bersifat tetap. Selain beban mati struktur terdapat juga beban mati tambahan, yaitu berat aspal dan tiang balok samping pada plat lantai kendaraan jembatan.

b. Beban Hidup.

Menurut BMS 1992[4], beban hidup pada jembatan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu beban “T” yang merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan dan beban “D” yang merupakan beban jalur untuk gelagar. Adapun penjelasan masing-masing beban tersebut adalah sebagai berikut :

a. Beban “T”.

Peraturan BMS 1992[4] menyatakan bahwa beban “T” adalah beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton. Beban “T” digunakan untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan. Ukuran-ukuran serta kedudukan beban “T” dapat dilihat pada Gambar 6. :



Gambar 6. Ketentuan Beban “T” Yang Dikerjakan Pada Jembatan Jalan Raya.

Keterangan :

$$a_1 = a_2 = 30 \text{ cm}$$

$$b_1 = 12,5 \text{ cm}$$

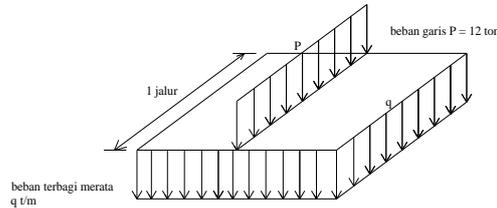
$$b_2 = 50 \text{ cm}$$

$$M_s = \text{muatan rencana sumbu} = 20 \text{ ton}$$

b. Beban “D”.

BMS 1992[4] juga mengemukakan bahwa untuk perhitungan kekuatan gelagar-gelagar harus digunakan beban “D”. Beban “D” atau beban jalur adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar “q” ton

per meter panjang perjalur, dan beban garis “P” ton per jalur lalu lintas tersebut. Distribusi beban “D” yang bekerja pada jembatan dapat dilihat pada Gambar 7. :



Gambar 7. Distribusi Beban “D” Yang Bekerja Pada Jembatan Jalan Raya.

Besar q ditentukan sebagai berikut :

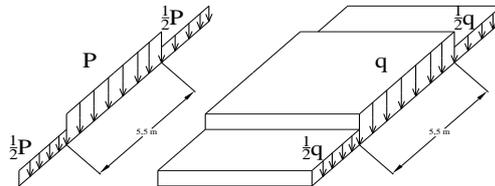
$$q = 2,2 \text{ t/m}^{\prime}, \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 22 - \frac{1,1}{60} \times (L - 30) \text{ t/m}, \quad \text{untuk } 30 \text{ m} < L < 60 \text{ m}$$

$$q = 1,1 \times \left(1 + \frac{30}{L}\right) \text{ t/m}^3, \quad \text{untuk } L < 60 \text{ m}$$

Ketentuan penggunaan beban D dalam arah melintang jembatan menurut peraturan BMS 1992[4] adalah sebagai berikut :

- untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 0,5 meter, beban D sepenuhnya (100%) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 meter sedang lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban D (50%), seperti ditunjukkan pada Gambar 8. :



Gambar 8. Ketentuan Penggunaan Beban “D”.

Peraturan BMS 1992[4] juga memberikan ketentuan dalam menentukan beban hidup (beban terbagi merata dan beban garis). Beban hidup per meter lebar jembatan menjadi sebagai berikut :

$$\text{Beban terbagi merata} = \frac{q \text{ ton / meter}}{2,75 \text{ m}} \quad \text{Beban garis} = \frac{p \text{ ton}}{2,75 \text{ m}}$$

Angka pembagi 2,75 meter di atas selalu tetap dan tidak tergantung pada lebar jalur lalu lintas.

c. Beban Kejut.

Untuk memperhitungkan pengaruh getaran-getaran dan pengaruh dinamis lainnya, tegangan-tegangan akibat beban garis “P” harus dikalikan dengan koefisien kejut yang akan memberikan hasil maksimum, sedangkan beban merata “q” dan beban “T” tidak dikalikan dengan koefisien kejut.

Koefisien kejut (k) dirumuskan sebagai berikut :

$$k = 1 + \frac{20}{(50 + L)}$$

Keterangan :

k = koefisien kejut L = panjang bentang jembatan (m)

3. Plat Lantai dan Balok Pada *Slab On Pile*.

Langkah-langkah perhitungan plat satu arah [3][5][9] adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Langkah-Langkah Perhitungan Plat Lantai.

NO	PERHITUNGAN	RUMUS	SUMBER
1.	Gaya yang terjadi pada plat	$Q = q_u \text{ saat angkat} \times 0,5 L$	Istimawan Dipohusodo (1996)
2.	Momen rencana	$M_u = \frac{1}{8} Q L^2$	Istimawan Dipohusodo (1996)
3.	Tinggi efektif plat	$d = t - s_b - \phi_s - \frac{D}{2}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
4.	Kapasitas plat	$Rn = \frac{M_u}{\phi b d^2}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
5.	Menghitung m	$m = \frac{Rn}{0,85 f_c'}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
6.	Rasio penulangan yang membenarkan kondisi seimbang pada plat	$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
7.	Rasio penulangan maksimum	$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$	Istimawan Dipohusodo (1996)
8.	Rasio penulangan minimum	$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
9.	Syarat rasio penulangan	$\rho_s = \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
10.	Luas tulangan	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$	Istimawan Dipohusodo (1996)
11.	Luas tulangan susut	$A_{s \text{ susut}} = 20\% \cdot A_s$	Istimawan Dipohusodo (1996)
12.	Jumlah tulangan	$n = \frac{A_s}{A_{s \phi}}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
13.	Jarak penulangan	$s_r \leq \frac{A_s \phi \cdot b}{A_s}$	Istimawan Dipohusodo (1996)

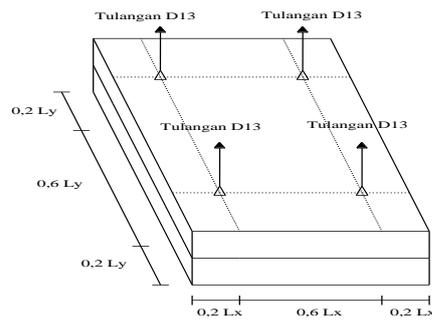
Langkah-langkah perhitungan balok [3][5][9] adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Langkah-Langkah Perhitungan Balok.

NO	PERHITUNGAN	RUMUS	SUMBER
1.	Momen rencana	$M_u = \frac{1}{8} Q L^2$	Istimawan Dipohusodo (1996)
2.	Tinggi efektif plat	$d = t - s_b - \phi_s - \frac{D}{2}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
3.	Kapasitas plat	$Rn = \frac{M_u}{\phi b d^2}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
4.	Menghitung m	$m = \frac{Rn}{0,85 f_c'}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
5.	Rasio penulangan yang membenarkan kondisi seimbang pada plat	$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
6.	Rasio penulangan maksimum	$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$	Istimawan Dipohusodo (1996)
7.	Rasio penulangan minimum	$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
8.	Syarat rasio penulangan	$\rho_s = \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$	Istimawan Dipohusodo (1996)
9.	Luas tulangan	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$	Istimawan Dipohusodo (1996)
10.	Luas tulangan susut	$A_{s \text{ susut}} = 20\% \cdot A_s$	Istimawan Dipohusodo (1996)
11.	Jumlah tulangan	$n = \frac{A_s}{A_{s \phi}}$	Istimawan Dipohusodo (1996)

4. METODE PENGANGKATAN PLAT PRECAST.

Proses pengangkatan plat *precast* ini harus memperhitungkan kapasitas tulangan angkat dan letak tulangan angkat terhadap kapasitas momennya. Pada saat plat *precast* diangkat, perletakkannya diasumsikan terletak diatas sendi-sendi [2]. Sedangkan letak titik angkat direncanakan seperti pada Gambar 9. :



Gambar 9. Mekanisme Pengangkatan Plat *Precast*.

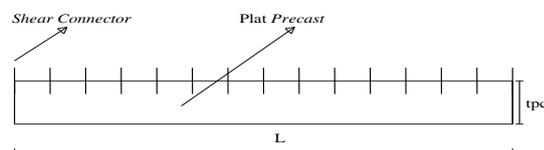
Langkah-langkah perhitungan tulangan angkat pada proses pengangkatan plat *precast* ini menurut *PCI Handbook*[6] adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Langkah-Langkah Perhitungan Tulangan Angkat.

NO	PERHITUNGAN	RUMUS	SUMBER
1	Modulus keruntuhan beton	$f_c = 0.7 \sqrt{f'_c}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
2	Lengan momen	$z_m = 1.6 \text{ bit}^2$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
3	Tebal plat saat pengangkatan	$t_m = n \times \text{tebal plat}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
4	Berat plat <i>precast</i> saat pengangkatan	$q_m = n \times \text{berat sendiri plat}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
5	Beban kejut pada saat pengangkatan	$K_m = r_{tc} \times 1.5 \times q$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
6	Momen yang terjadi pada plat <i>precast</i> saat pengangkatan	$M_m = 0.0107 K_m \cdot L^2 \cdot b \cdot x$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
7	Tegangan yang terjadi pada plat <i>precast</i>	$\sigma = \frac{M}{z}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
8	Berat sendiri plat <i>precast</i>	$w = L \cdot b \cdot t_c \cdot \text{BJ-beton}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
9	Berat sendiri plat akibat kejut	$K_m = 1.5 \times w$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
10	Reaksi pada setiap titik angkat	$P_i = \frac{\text{berat seluruh beban}}{4 \text{ titik angkat}}$ $P_i = \frac{K_m}{4}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
11	Tegangan tarik baja tulangan	$\sigma_s = \frac{f_c}{1.5}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
12	Luasan tulangan baja	$A_s = \frac{P}{\sigma_s}$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
13	Diameter tulangan angkat	$A_s = \frac{1}{4} \pi D^2$	<i>PCI Handbook</i> (1999)
14	Syarat jumlah lapis plat pada setiap pengangkatan plat <i>precast</i>	$c < f_c$	<i>PCI Handbook</i> (1999)

5. Shear Connector.

Menurut Andri Budiadi (2008)[2], pada struktur komposit seperti pada metode *Half-Slab* ini perlu diperhatikan juga geser yang terjadi antara plat *precast* dengan plat *cast-in-situ*. Untuk menahan geser antara komponen plat *precast* dengan plat *cast-in-situ* ini dapat digunakan mekanisme dengan *shear connector*, yaitu sambungan diantara plat *precast* dan plat *cast-in-situ* sehingga plat dapat menyatu menjadi struktur plat yang komposit.



Gambar 10. Mekanisme Pemasangan *Shear Connector* Pada Plat *Precast*.

Langkah-langkah perhitungan *shear connector* adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Langkah-langkah Perhitungan *Shear Connector*.

NO.	PERHITUNGAN	RUMUS	SUMBER
1.	Luasan total plat	$A = (L \cdot t_p) + (L \cdot t_s)$	Andri Budiadi (2008)
2.	Titik berat dari serat atas plat <i>precast</i>	$y_i = \frac{(L \cdot t_p \cdot y_1) + (L \cdot t_s \cdot (t_p + y_2))}{A}$	Andri Budiadi (2008)
3.	Momen inersia plat <i>precast</i>	$I = \left(\frac{L \cdot t_p^3}{12} \right) + (L \cdot t_p \cdot (y_i - y_1)^2) + \left(\frac{L \cdot t_s^3}{12} \right) + (L \cdot t_s \cdot (y_2 - y_i)^2)$	Andri Budiadi (2008)
4.	Momen lembam penampang komposit	$Q_k = (L \cdot t_p \cdot (t_p - y_i)) + (L \cdot t_s \cdot (y_2 - y_i))$	Andri Budiadi (2008)
5.	Tegangan geser horizontal akibat geser	$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$	Andri Budiadi (2008)
6.	Luasan tulangan baja	$A_s = 2 \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right)$	Andri Budiadi (2008)
7.	Jarak antar baris tulangan	$s_r = \frac{f_y \cdot A_s}{b \cdot \tau}$	Andri Budiadi (2008)
8.	Jumlah baris tulangan	$n_r = \frac{L}{s_r}$	Andri Budiadi (2008)

6. ANALISA BIAYA.

Rencana Anggaran Biaya suatu bangunan atau proyek adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut (Bachtiar,1993).

Menurut Bachtiar (1993), ada beberapa komponen yang diperlukan dalam menyusun rencana anggaran biaya, yaitu :

A. Volume Pekerjaan

a. Pengertian Volume Pekerjaan

Yang dimaksud dengan volume suatu pekerjaan adalah menghitung banyaknya volume pekerjaan dalam satu satuan. Volume juga disebut kubikasi pekerjaan. Jadi volume (kubikasi) suatu pekerjaan, bukanlah merupakan volume sesungguhnya.

b. Uraian Volume Pekerjaan

Yang dimaksud dengan uraian volume pekerjaan adalah menguraikan secara rinci besar volume atau kubikasi suatu pekerjaan. Menguraikan, berarti menghitung besar volume masing-masing pekerjaan sesuai dengan gambar bestek dan gambar detail.

B. Harga Satuan Pekerjaan

Yang dimaksud dengan harga satuan pekerjaan adalah jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan perhitungan analisis. Harga bahan didapat di pasaran, dikumpulkan dalam satu daftar yang dinamakan daftar harga satuan bahan. Upah tenaga kerja didapatkan dilokasi dikumpulkan dan dicatat dalam satu daftar yang dinamakan daftar harga satuan upah.

Harga satuan bahan dan upah tenaga kerja disetiap daerah berbeda-beda. Jadi dalam menghitung dan menyusun anggaran biaya suatu bangunan atau proyek, harus berpedoman pada harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di pasaran dan di lokasi pekerjaan.

Ada tiga istilah yang harus dibedakan dalam menyusun anggaran biaya bangunan yaitu :

- a. Harga Satuan Upah
- b. Harga Satuan Bahan
- c. Harga Satuan Alat

Dalam menghitung analisa harga satuan pekerjaan kita harus dapat memperkirakan kuantitas (Qt'_y) yang dipakai sebagai koefisien pengali upah, bahan dan biaya alat. Koefisien pengali atau kuantitas tiap-tiap pekerjaan berbeda tergantung volume pekerjaan yang akan dikerjakan. Nilai kuantitas ini digunakan untuk setiap $1m^3$ tahapan pekerjaan.

Untuk mencari koefisien pengali atau kuantitas suatu pekerjaan dapat digunakan rumus sebagai berikut :

- a. Untuk perhitungan upah pekerja

$$Qt'_y = \frac{\text{jumlah tenaga kerja} \times \text{jumlah jam kerja}}{\text{volume total pekerjaan}}$$

- b. Untuk perhitungan bahan

$$Qt'_y = \text{berat bahan untuk } 1m^3 \times \text{biaya bahan per satuan}$$

- c. Untuk perhitungan sewa alat

$$Qt'_y = \frac{\text{jumlah alat} \times \text{jumlah jam kerja}}{\text{volume total pekerjaan}}$$

C. Persentase Bobot Pekerjaan

Yang dimaksud dengan persentase bobot pekerjaan adalah besarnya persen pekerjaan siap, dibanding dengan pekerjaan siap seluruhnya.

D. Time schedule (Rencana Kerja)

Time berarti waktu, *schedule* adalah memasukkan ke dalam daftar. *Time schedule* adalah waktu yang telah ditentukan. Jadi yang dimaksud dengan *Time Schedule* adalah mengatur rencana kerja dari suatu bagian atau unit pekerjaan.

Time Schedule meliputi kegiatan antara lain sebagai berikut :

- a. Kebutuhan tenaga kerja
- b. Kebutuhan material/bahan
- c. Kebutuhan waktu
- d. Pengangkutan / transportasi

Dari *Time Schedule*/rencana kerja kita akan mendapatkan gambaran lama pekerjaan dapat diselesaikan, serta bagian-bagian pekerjaan yang saling terkait antara satu dan lainnya.

Adapun tahapan analisa biaya pekerjaan dengan menggunakan metode *precast half-slab* ini terdiri dari 5 (lima) analisis satuan pekerjaan, yaitu :

1. Analisis satuan pekerjaan pembesian plat,
2. Analisis satuan pekerjaan beton plat,
3. Analisis satuan pekerjaan pembesian balok,
4. Analisis satuan pekerjaan beton balok.

HASIL DAN PEMBAHASAN.

1. Perhitungan Penulangan Plat.

A. Metode *Precast Half-Slab*.

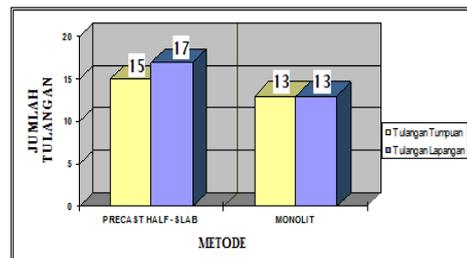
Tabel 5. Penulangan Plat Metode *Precast Half-Slab*.

PLAT	Tulangan Utama	Luas Tulangan (A _s) (mm ² /m)	Jumlah Tulangan	Tulangan Susut	Luas Tulangan (A _s) (mm ² /m)
A. Kondisi Pengangkatan					
a. Kondisi Pengangkatan Arah X	D16-400	314,60	2	D16-200	80,384
b. Kondisi Pengangkatan Arah Y	D16-400	213,50	2	D16-200	80,384
B. Kondisi Sebelum Komposit					
a. Tulangan Tumpuan	D16-400	311,10	2	D16-200	80,384
b. Tulangan Lapangan	D16-400	213,50	2	D16-200	80,384
C. Kondisi Setelah Komposit					
a. Tulangan Tumpuan	D16-100	3.143,40	15	D16-200	602,880
b. Tulangan Lapangan	D16-100	3.497	17	D16-200	683,264

B. Metode *Monolite*.

Tabel 6. Penulangan Plat Metode *Monolite*.

PLAT	Tulangan Utama	Jumlah Tulangan	Tulangan Susut
a. Tulangan Tumpuan	D16-100	13	D16-200
b. Tulangan Lapangan	D16-100	13	D16-200



Gambar 11. Perbandingan Penulangan Plat *Slab on Pile* Metode *Precast Half-Slab* Dengan Metode *Monolite*.

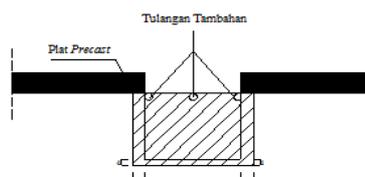
2. Perhitungan Penulangan Balok.

A. Metode *Precast Half-Slab*.

1. Penulangan Balok Stage 1.

Tabel 7. Penulangan Balok Stage 1.

Balok	Tulangan Utama	Luas Tulangan (A _s) (mm ² /m)	Jumlah Tulangan	Gaya Geser (V _d) (N)	Kuat Geser (V _c) (N)
Tulangan Tumpuan Tambahan	D22	938,35	3	6.938	134.209



Gambar 12. Penulangan Balok Stage 1.

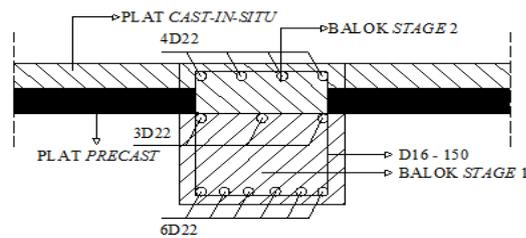
2. Penulangan Balok Stage 2.

Tabel 8. Penulangan Balok Stage 2.

Balok	Tulangan Utama	Luas Tulangan (A_s) (mm^2/m)	Jumlah Tulangan
a. Tulangan Tumpuan	D22	1.550,85	4
b. Tulangan Lapangan	D22	1.550,85	6

Tabel 9. Tulangan Geser Balok Stage 2.

Balok	Tulangan Geser	Kuat Geser Balok (V_c) (N)	Kuat Geser Nominal (V_n perlu) (N)	Kuat Tulangan Geser (V_s) (N)	Kait Senggang (mm)
Tulangan Geser (Senggang)	D16 - 150	476	587,95	350,423	96

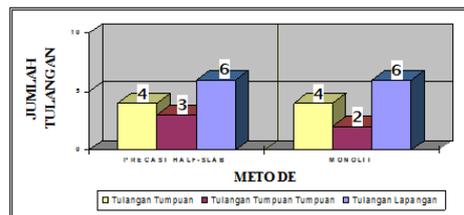


Gambar 13. Penulangan Balok Stage 2 (Balok Utuh).

B. Metode *Monolite*.

Tabel 10. Perhitungan Balok Metode *Monolite*.

Balok	Tulangan Utama	Jumlah Tulangan
a. Tulangan Tumpuan	D22	4
b. Tulangan Tumpuan Tambahan	D22	2
c. Tulangan Lapangan	D22	6

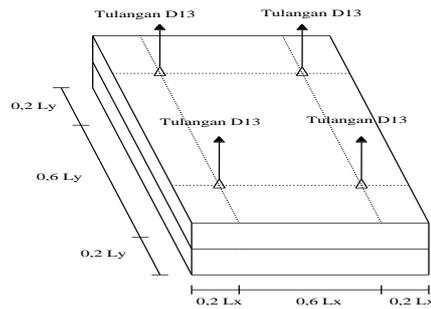


Gambar 14. Perbandingan Penulangan Balok Metode *Precast Half-Slab* Dengan Metode *Monolite*.

3. Tulangan Angkat Plat *Precast*.

Hasil dari perhitungan tulangan angkat plat *precast* ini dapat disimpulkan bahwa berdasarkan syarat $\sigma < f_r$ (tegangan yang terjadi pada plat lebih kecil daripada modulus keruntuhan beton) pada setiap pengangkatan hanya bisa 2 (dua) lapis plat pada setiap pengangkatan plat *Precast*.

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan tulangan angkat plat *precast* ini diperoleh tulangan angkat pada tiap-tiap titik angkat plat *precast* adalah tulangan D13 ($A_s = 1,327 \text{ cm}^2$).

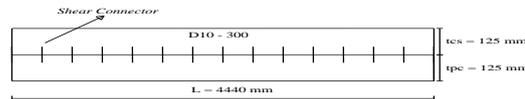


Gambar 15. Penampang Dan Titik Angkat Pada Tulangan Angkat Plat *Precast*.

4. *Shear Connector*.

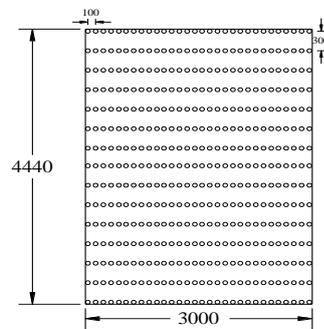
A. Perhitungan *Shear Connector* Plat.

Berdasarkan hasil dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa tulangan pada *shear connector* plat ini digunakan tulangan D10 ($A_s = 157 \text{ mm}^2$). Untuk satu segmen plat *precast*, jumlah baris tulangan kearah memanjang adalah 15 baris tulangan dengan jarak antar baris tulangan adalah 300 mm seperti dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 16. Potongan Memanjang Tulangan *Shear Connector* Plat.

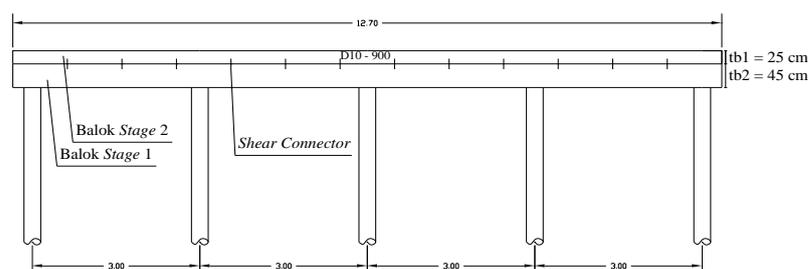
Sedangkan jumlah baris tulangan kearah melebar adalah 30 baris tulangan dengan jarak antar baris tulangan adalah 100 mm. Jumlah total *shear connector* untuk satu segmen plat *precast* adalah 450 batang tulangan seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 17. Tampak Atas Tulangan *Shear Connector* Plat.

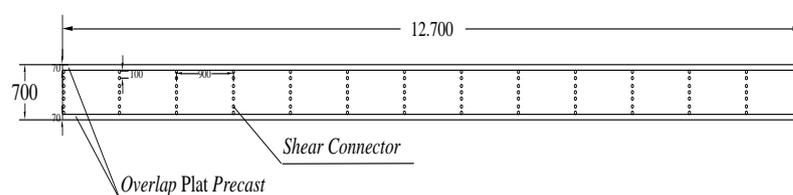
B. Perhitungan *Shear Connector* Balok.

Berdasarkan hasil dari perhitungan diperoleh tulangan untuk *shear connector* balok adalah tulangan D10 ($A_s = 157 \text{ mm}^2$). Untuk satu segmen balok *stage* 1, jumlah baris tulangan kearah memanjang adalah 14 baris tulangan dengan jarak antar baris tulangan adalah 900 mm seperti dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 18. Potongan Memanjang Tulangan Shear Connector Balok.

Sedangkan jumlah baris tulangan kearah melebar adalah 7 baris tulangan dengan jarak antar baris tulangan adalah 100 mm. Jumlah total *shear connector* untuk satu segmen balok *stage 1* adalah 98 batang tulangan seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 19. Tampak Atas Tulangan Shear Connector Balok.

4. Analisa Biaya.

A. Metode *Precast Half-Slab*.

Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan *Slab On Pile* dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* adalah sebagai berikut :

Tabel 11. Daftar Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan *Slab On Pile* Dengan Menggunakan Metode *Precast Half-Slab*

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pekerjaan Pembesian Plat	kg	28,857	Rp 12,300.00	Rp 354,941,100.00
2	Pekerjaan Beton Plat	m ³	127	Rp1,107,200.00	Rp 140,614,400.00
3	Pekerjaan Pembesian Balok	kg	6,803	Rp 12,400.00	Rp 84,357,200.00
4	Pekerjaan Beton Balok	m ³	32.004	Rp1,417,300.00	Rp 45,359,269.20
TOTAL					Rp 625,271,969.20
PEMBULATAN					Rp 625,272,000.00

B. Metode Kombinasi Mutu Beton.

Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan *Slab On Pile* dengan menggunakan metode Kombinasi Mutu Beton adalah sebagai berikut :

Tabel 12. Daftar Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Slab On Pile Dengan Menggunakan Metode Kombinasi Mutu Beton.

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
1	Pekerjaan Pembesian Plat	kg	29,616	Rp 12,300.00	Rp 364,276,800.00
2	Pekerjaan Beton Plat	m ³	127	Rp 920,200.00	Rp 116,865,400.00
3	Pek.Pembesian Balok	kg	6,803	Rp 12,400.00	Rp 84,357,200.00
4	Pekerjaan Beton Balok	m ³	32.004	Rp1,230,300.00	Rp 39,374,521.20
TOTAL					Rp 604,873,921.20
PEMBULATAN					Rp 604,874,000.00

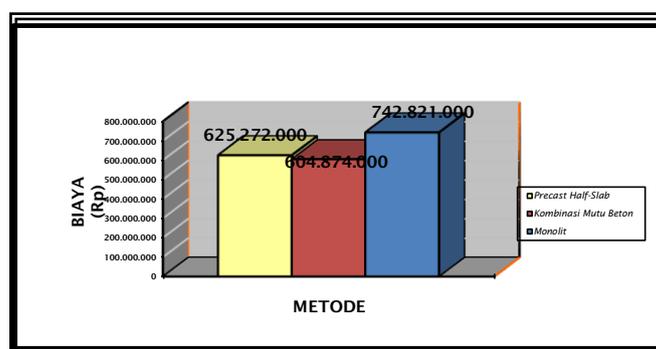
C. Metode *Monolite*.

Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan *Slab On Pile* dengan menggunakan metode *Monolite* adalah sebagai berikut :

Tabel 13. Daftar Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Slab On Pile Dengan Menggunakan Metode *Monolite*.

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
1	Pek. Pembesian Plat & balok	kg	29.714	Rp 12.300,00	Rp 341.476.278,00
2	Pek. Beton Plat & Balok	m ³	159,004	Rp1.621.700,00	Rp 257.856.786,80
3	Pekerjaan <i>Shoring</i>	m ³	6.096	Rp 19.600,00	Rp 119.481.600,00
TOTAL					Rp 742,820,586.80
PEMBULATAN					Rp 742,821,000.00

Perbedaan biaya antara pekerjaan *Slab On Pile* jembatan dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab*, metode Kombinasi Mutu Beton dan metode *Monolite* ini ditampilkan pada grafik berikut ini :



Gambar 20. Grafik Perbedaan Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Slab On Pile Metode *Precast Half-Slab*, Metode Kombinasi Mutu Beton Dan Metode *Monolite*

Adapun efisiensi masing-masing pekerjaan adalah sebagai berikut :

A. Perbandingan efisiensi biaya pekerjaan metode *Precast Half-Slab* dengan metode *Monolite* :

Menentukan efisiensi pekerjaan (E_{ff}) :

$$E_{ff} = \frac{\text{jumlah biaya metode Monolit} - \text{jumlah biaya metode Precast Half - Slab}}{\text{jumlah biaya metode Precast Half - Slab}} \times 100$$

%

$$E_{ff} = \frac{\text{Rp.742.821.000,00} - \text{Rp.625.272.000,00}}{\text{Rp.625.272.000,00}} \times 100 \%$$

$$E_{ff} = 18,80 \%$$

Dengan demikian efisiensi pekerjaan dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* dibandingkan dengan metode *Monolite* adalah **18,80 %** dengan selisih biaya **Rp. 117.549.000,00**.

B. Perbandingan efisiensi biaya pekerjaan metode Kombinasi Mutu Beton dengan metode *Monolite* :

Menentukan efisiensi pekerjaan (E_{ff}) :

$$E_{ff} = \frac{\text{jumlah biaya metode Monolit} - \text{jumlah biaya metode Precast Half - Slab}}{\text{jumlah biaya metode Precast Half - Slab}} \times 100$$

%

$$E_{ff} = \frac{\text{Rp.742.821.000,00} - \text{Rp.604.874.000,00}}{\text{Rp.604.874.000,00}} \times 100 \%$$

$$E_{ff} = 22,80 \%$$

Dengan demikian efisiensi pekerjaan dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* dibandingkan dengan metode *Monolite* adalah **22,80 %** dengan selisih biaya **Rp. 137.947.000,00**.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perkiraan biaya pekerjaan *Slab On Pile* jembatan dengan menggunakan metode *Precast Half-Slab* lebih efisien dari segi biaya daripada metode *Monolit*. Namun untuk memperoleh biaya yang lebih efisien lagi digunakan metode Kombinasi Mutu Beton. Yang dimaksud dengan metode Kombinasi Mutu Beton adalah mengkombinasikan mutu beton pada metode *Precast Half-Slab*, yaitu menggunakan mutu beton K-500 untuk plat *precast* dan mutu beton K-400 untuk plat *cast-in-situ*.

KESIMPULAN.

Hasil penelitian ini memberikan beberapa kesimpulan, yaitu:

Tabel 14. Perbandingan Metode *Precast Half-Slab* Dengan Metode *Monolite*.

No.	Uraian	<i>Precast Half-Slab</i>	<i>Monolite</i>
1.	Penulangan Plat.	a.Asumsi penulangan terdiri dari 3 tahapan, yaitu saat pengangkatan, sebelum komposit dan setelah komposit.	a.Asumsi penulangan hanya satu tahapan, yaitu setelah komposit. b.Jumlah tulangan tumpuan dan lapangan lebih sedikit

		b.Jumlah tulangan tumpuan dan lapangan lebih banyak daripada metode <i>Monolite</i> .	daripada metode <i>Precast Half-Slab</i> .
2.	Penulangan Balok.	a.Jumlah tulangan tumpuan dan lapangan sama dengan metode <i>Monolite</i> . b.Memerlukan tulangan tumpuan tambahan.	a.Jumlah tulangan tumpuan dan lapangan sama dengan metode <i>Precast Half-Slab</i> . b.Memerlukan tulangan tumpuan tambahan.
3.	Tulangan Angkat.	Memerlukan tulangan angkat D13 untuk pengangkatan 2 lapis plat <i>precast</i> .	Tidak memerlukan tulangan angkat karena plat dicor secara <i>cast-in-situ</i> .
4.	<i>Shear Connector</i> .	Memerlukan tulangan D10 untuk <i>shear connector</i> , yaitu sambungan antara plat <i>precast</i> dan plat <i>cast-in-situ</i> .	Tidak memerlukan <i>shear connector</i> karena plat sudah menyatu (<i>Monolite</i>).
5.	Analisa Biaya	a.Terdiri dari 4 analisis satuan pekerjaan, yaitu pembesian plat, beton plat, pembesian balok dan beton balok b.Rencana Anggaran Biaya (RAB) lebih murah yaitu sebesar <u>Rp. 625.272.000,00.</u>	a. Terdiri dari 3 analisis satuan pekerjaan, yaitu pembesian plat dan balok, beton plat dan balok, <i>shoring</i> b.Rencana Anggaran Biaya (RAB) lebih mahal yaitu sebesar <u>Rp. 742.821.000,00.</u>

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional (2002) *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Jakarta.
2. Budiadi, Andri (2008) *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta : Andi.
3. Dipohusodo, Istimawan (1996) *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta : Gramedia.
4. Directorate General of Highways Ministry of Public Works Republic of Indonesia (1992) *Bridge Management System (BMS) 1992*. Indonesia.
5. Nawy, Edward G (1998) *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : PT. Refika Aditama.
6. *Prestressed Concrete Institute* (1999) *PCI Design Handbook Fifth Edition*. Prestressed Concrete Institute. Chicago.
7. PT. PP (Persero) General Kontaktor (2003) *Buku Referensi Untuk Kontraktor Bangunan Gedung Dan Sipil*. Jakarta : Gramedia.
8. Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar (2007) *Jembatan*. Yogyakarta : Beta Offset.
9. Wang,C.K., Salmon,C.G., dan Hariandja, B (1994) *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta : Penerbit Erlangga.