

ANALISIS KONSTRUKSI STRUKTUR ATAS DERMAGA PETI KEMAS TIPE *DECK ON PILE* DENGAN BETON PRACETAK

Addina Inayatillah

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB

addinainayatillah@yahoo.com

ABSTRAK

Penggunaan beton pracetak merupakan salah satu alternatif dalam konstruksi dermaga dan merupakan solusi dari masalah kesulitannya proses pembetonan yang harus dilakukan di laut. Pada prinsipnya, metode beton pracetak memindahkan sebagian besar pekerjaan konstruksi dermaga yang dilakukan di laut menjadi ke darat. Tugas akhir ini melakukan analisis konstruksi struktur atas dermaga peti kemas tipe *deck on pile* dengan beton pracetak. Komponen pracetak yang dianalisis yaitu pelat, balok, dan *pile cap*, dan diperiksa kekuatannya pada kondisi pengangkatan dan instalasi, serta dilakukan perhitungan *shear connector* dan *lifting anchors*.

Hasil tugas akhir ini yaitu berupa model dermaga, desain detail penulangan balok dan pelat, dan dimensi serta desain detail penulangan balok dan pelat pracetak. Dari hasil perhitungan, didapatkan ada 2 jenis pelat, Pelat1 berjumlah 960 buah, dan Pelat2 berjumlah 720 buah. Sementara dibutuhkan 4 jenis balok, B1, B2, B3, dan B4, masing-masing berjumlah 360, 427, 120, dan 420 buah. *Shear connector* pelat pracetak menggunakan tulangan Ø16 dan *lifting anchor* menggunakan tulangan Ø6 dan Ø8.

Kata kunci: beton pracetak, dermaga, analisis konstruksi, *shear connector*, *lifting anchor*

PENDAHULUAN

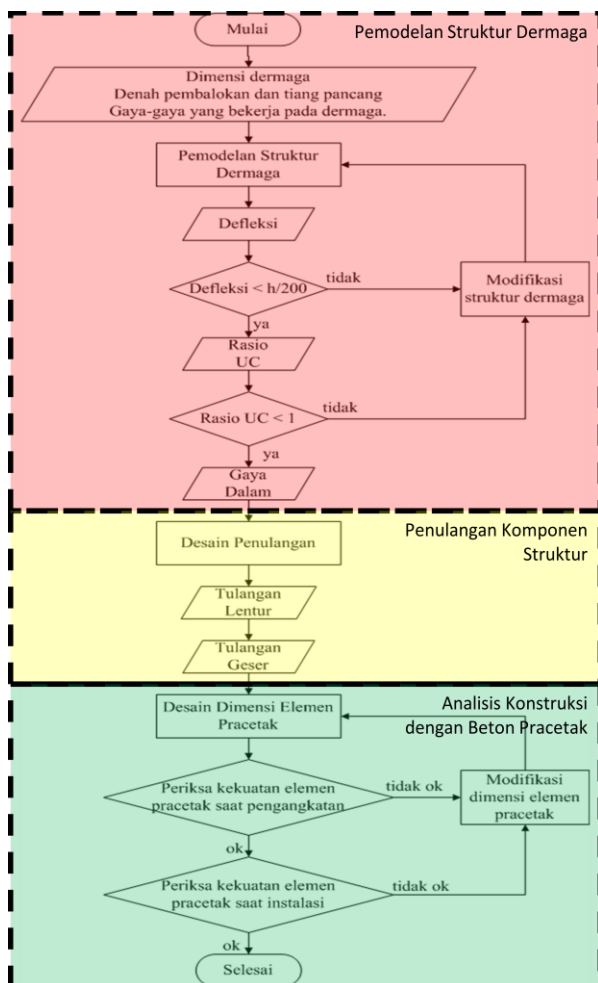
Dermaga harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kapal dapat merapat dan bertambat serta melakukan kegiatan di pelabuhan dengan aman, cepat, dan lancar (Triatmodjo, 2009). Tujuan utama struktur dermaga adalah untuk menyediakan struktur vertikal dimana kapal bisa ditambatkan untuk bongkar muat. Struktur atas dari beton banyak digunakan karena harganya relatif murah dan lebih tahan terhadap korosi sehingga mengurangi biaya perawatan. Saat proses konstruksi,

pembetonan struktur atas dermaga dilaksanakan di laut dengan tingkat kesulitan yang tinggi dan lingkungan yang berubah-ubah. Dengan kondisi seperti itu maka metode beton pracetak merupakan salah satu alternatif agar tetap bisa menggunakan beton dan mengurangi kesulitan pekerjaan. Beton pracetak terdiri dari beton (campuran dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus) yang dicetak menjadi bentuk tertentu bukan di lokasi akan dipasangnya. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melakukan analisis

konstruksi pada struktur dermaga peti kemas tipe *deck on pile* dengan beton pracetak. Komponen struktur atas yang didesain menggunakan beton pracetak adalah pelat, balok, dan *pile cap*.

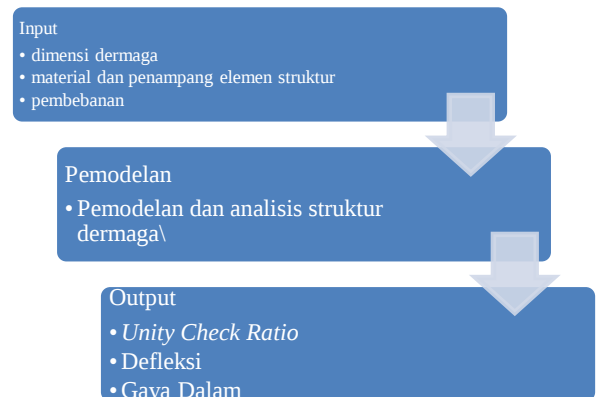
TEORI DAN METODOLOGI

Tugas akhir ini terdiri dari tiga tahapan besar yaitu pemodelan struktur dermaga, desain penulangan komponen struktur, dan desain dimensi elemen pracetak beserta pemeriksaan kekuatan elemen pracetak pada kondisi pengangkatan dan instalasi. Diagram alir metodologi pekerjaan pada tugas akhir ini bisa dilihat pada Gambar 1.

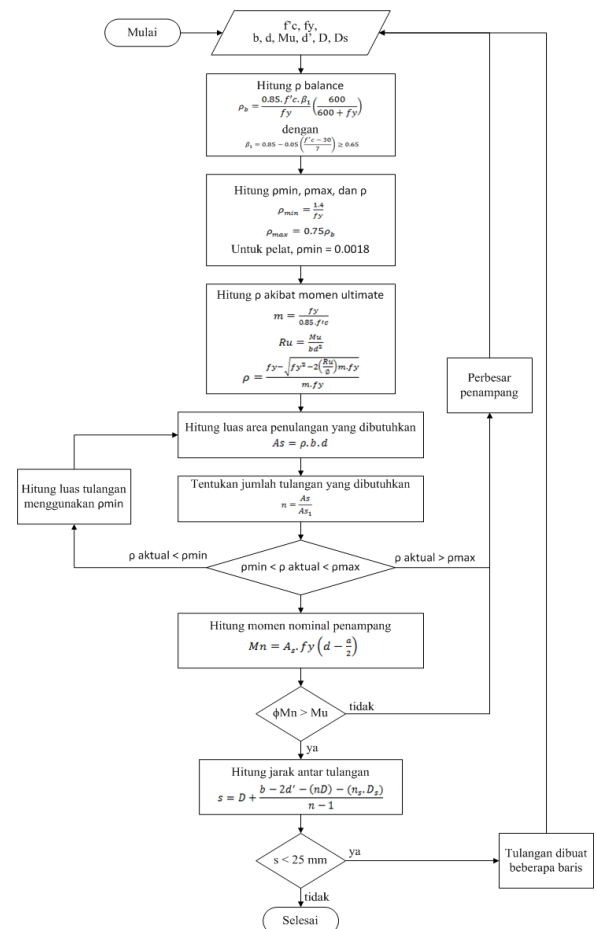


Gambar 1 Diagram alir metodologi pekerjaan.

Tahapan pemodelan pada struktur dermaga ini dapat dilihat pada Gambar 2.

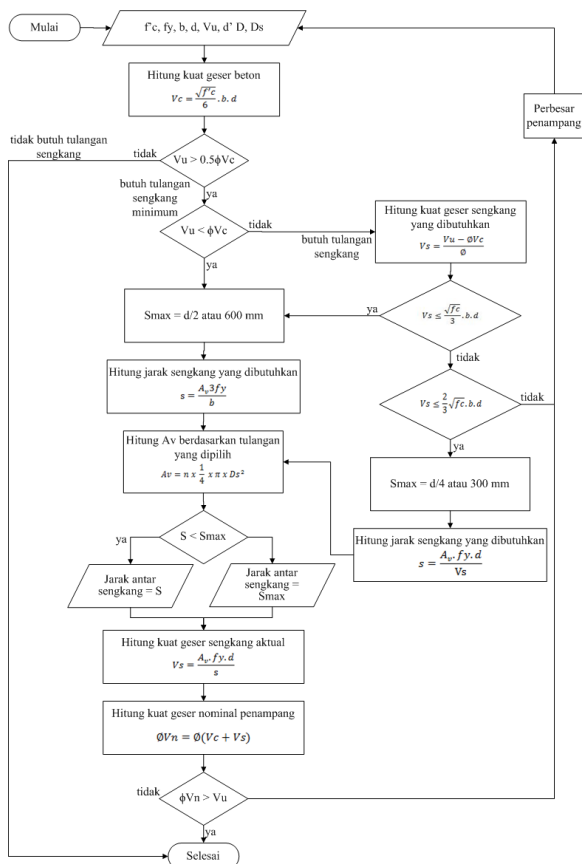


Gambar 2 Tahapan pemodelan struktur Output gaya dalam dari pemodelan struktur digunakan untuk desain penulangan. Gambar 3 menunjukkan diagram alir desain penulangan lentur.



Gambar 3 Diagram alir desain penulangan lentur.

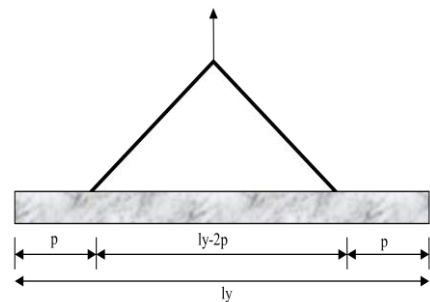
Gambar 4 menunjukkan diagram alir penulangan geser.



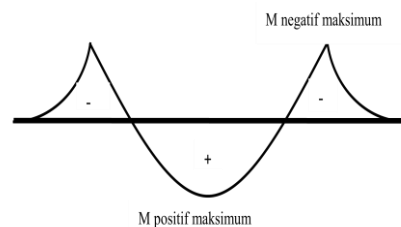
Gambar 4 Diagram alir penulangan geser.

Setelah desain penulangan didapatkan, maka dilanjutkan dengan desain elemen beton pracetak dan analisis konstruksi. Analisis dilakukan pada kondisi pengangkatan dan instalasi. Elemen pracetak pelat diangkat pada dua titik dengan menggunakan crane. Pada saat pengangkatan, pelat bisa dianggap sebagai sistem balok dengan dua tumpuan pada arah panjang dan sebagai sistem kantilever pada arah lebar. Ilustrasi pengangkatan pada pelat dilihat dari arah memanjang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan diagram momen yang terjadi. Ilustrasi pengangkatan pada pelat dilihat dari arah lebar ditunjukkan pada

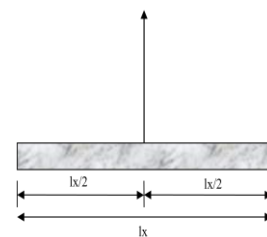
Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan diagram momen yang terjadi.



Gambar 5 Ilustrasi pengangkatan pelat dari arah panjang.



Gambar 6 Momen yang terjadi pada kondisi pengangkatan pelat dari arah panjang.



Gambar 7 Ilustrasi pengangkatan pelat dari arah lebar.



Gambar 8 Momen yang terjadi pada pelat saat kondisi pengangkatan arah lebar.

Momen positif dan negatif maksimum yang terjadi saat pengangkatan pelat arah memanjang sesuai Persamaan (1) dan (2).

$$Mu = \frac{q_u}{8} ((ly - 2p)^2 - 4p^2) \quad (1)$$

$$Mu = -\frac{1}{2} q_u p^2 \quad (2)$$

dengan q_u adalah berat beton pracetak tiap 1 meter (kg/m). Sementara momen maksimum yang terjadi saat pengangkatan pelat arah lebar sesuai Persamaan (3)

$$Mu = -\frac{1}{2}q_u \left(\frac{lx}{2}\right)^2 \quad (3)$$

Momen yang terjadi kemudian dibandingkan dengan momen nominal penampang pelat pracetak. Untuk momen negatif yang terjadi, maka dibutuhkan tulangan tambahan pada bagian atas pelat pracetak. Diagram alir pengecekan kekuatan pelat pracetak saat pengangkatan ditunjukkan pada Gambar 9.

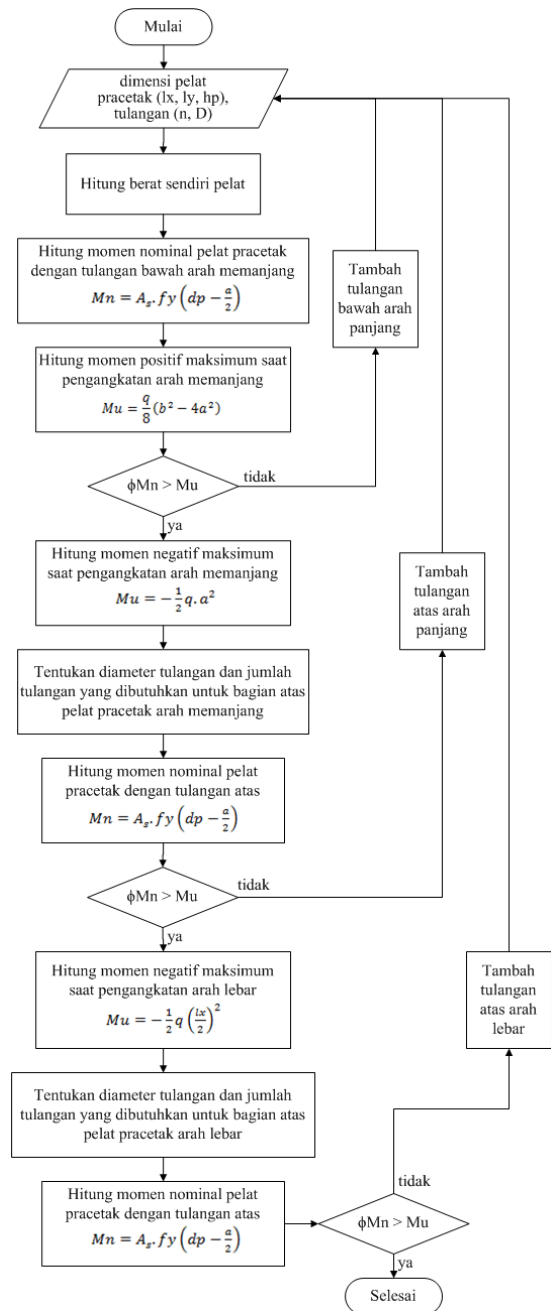
Untuk pengangkatan balok, perhitungannya sama dengan pengangkatan balok arah memanjang.

Selanjutnya dilakukan analisis konstruksi pada kondisi instalasi. Pada saat dipasang diatas balok, pelat pracetak akan menahan beban sendiri dan kemudian menahan beban beton cair diatasnya pada saat pengecoran. Momen maksimum yang terjadi saat instalasi pelat dapat dihitung sesuai dengan aturan PBI 1971. Nilai q_u ditentukan $1.4DL$.

Momen yang terjadi ini kemudian dibandingkan dengan momen nominal penampang pelat pracetak. Apabila M_u lebih besar daripada ϕM_n , maka dibutuhkan tulangan bawah tambahan pada pelat.

Untuk balok pracetak, pada saat instalasi akan menahan beban sendiri, beban beton basah, dan pelat diatasnya. Ilustrasi kondisi instalasi pada balok ditunjukkan pada Gambar 10.

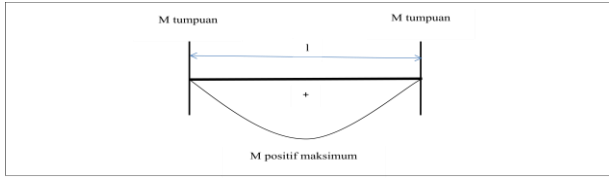
Momen yang terjadi pada balok pada saat instalasi ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 9 Diagram alir pengecekan kekuatan pelat pracetak kondisi pengangkatan.



Gambar 10 Ilustrasi kondisi instalasi balok.

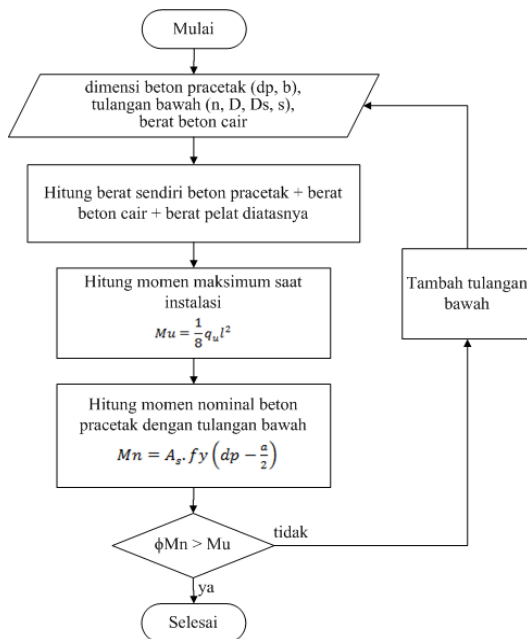


Gambar 11 Momen yang terjadi pada kondisi instalasi pada balok.

Momen maksimum yang terjadi saat instalasi balok dapat dihitung dengan Persamaan (4).

$$Mu = \frac{1}{8} q_u l^2 \quad (4)$$

Momen yang terjadi dibandingkan dengan momen nominal penampang beton pracetak. Apabila M_u lebih besar daripada ϕM_n , maka dibutuhkan tulangan bawah tambahan pada balok. Diagram alir pengecekan kekuatan balok pracetak kondisi instalasi ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Diagram alir pengecekan

kekuatan balok pracetak kondisi instalasi.

Shear connector atau penghubung geser digunakan untuk menahan *slip* yang terjadi antara bidang pertemuan pelat pracetak dengan bagian atas pelat yang dicor di tempat.

Kuat geser nominal satu penghubung geser jenis paku yang ditanam di dalam pelat beton massif berdasarkan SNI 03-1729 (2002) sesuai Persamaan (5).

$$Q_n = 0.5 A_s \sqrt{f' c E_c} \leq A_s f_y \quad (5)$$

Tegangan geser per satuan panjang yang terjadi pada sambungan pelat pracetak dengan bagian atas pelat yang dicor ditentukan dengan Persamaan (6).

$$q = \frac{VQ}{I} \quad (6)$$

Jarak antar *shear connector* dihitung dengan Persamaan (7),

$$s = \frac{Q_n}{q} \quad (7)$$

Lifting anchors merupakan tulangan baja yang ditanam pada komponen pracetak yang berfungsi menjadi tempat pengangkatan. Kekuatan *lifting anchors* diperiksa terhadap tarik dan kekuatan pecah beton yang mengacu pada ACI 318R (2008) sebagai berikut:

$$N_n \leq N_{sa} \text{ dan } N_n \leq N_b$$

Kekuatan pecah beton dari tulangan baja dapat ditentukan dengan Persamaan (8).

$$N_b = k_c \sqrt{f' c} h_b^{1.5} \quad (8)$$

Jika N_b minimal sama dengan N_n , maka kedalaman tulangan angkat minimal dapat ditentukan dengan Persamaan (9).

$$h_b = \left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f' c}} \right)^{2/3} \quad (9)$$

HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan perhitungan maka diperoleh hasil:

1. Dimensi elemen struktur dermaga setelah dimodifikasi:

- Tiang pancang: diameter luar 711 mm, ketebalan 11.9 mm
- (B1) : 800 x 600 x 5000 mm
- (B2) : 800x600x6000 mm,
- 800x 600x7000 mm
- (B3) : 1000 x 800 x 5000 mm
- (B4) : 675 x 400 x 5000 mm
- Pelat1 : 350 x 2500 x 3000 mm
- Pelat2 : 350 x 2500 x 3500 mm
- *Pile cap* tunggal : 1300x1300x1300 mm
- *Pile cap* ganda : 1300 x 1300 x 4300 mm

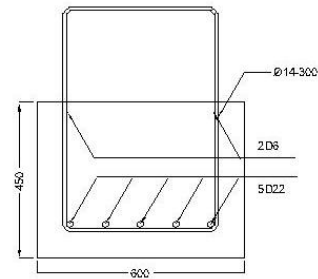
2. Berdasarkan perhitungan, didapatkan dimensi elemen pracetak, beserta jumlah dan berat masing-masing sebagai berikut:

- B1 (450 x 600 x 4000 mm)
Jumlah : 360 buah
Berat : 2.6 ton
- B2(450 x 600 x 5000 mm)
Jumlah : 244 buah
Berat : 3.2 ton
- B2 (450 x 600 x 6000 mm)
Jumlah : 183 buah
Berat : 3.9 ton
- B3 (650 x 800 x 4000 mm)
Jumlah : 120 buah
Berat : 5 ton
- B4 (325 x 400 x 4550 mm)
Jumlah : 420 buah
Berat : 1.4 ton
- Pelat1 (200 x 2050 x 2650 mm)
Jumlah : 960 buah
Berat : 2.6 ton
- Pelat2 (200 x 2050 x 3150 mm)
Jumlah : 720 buah

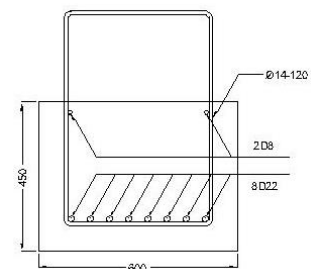
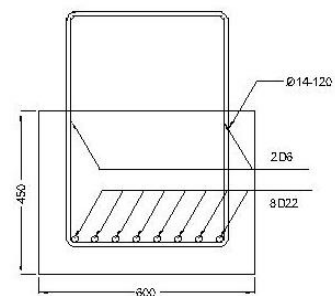
Berat : 3.1 ton

3. Berdasarkan perhitungan didapatkan tulangan atas yang dibutuhkan oleh elemen pracetak pada saat pengangkatan adalah sebagai berikut:

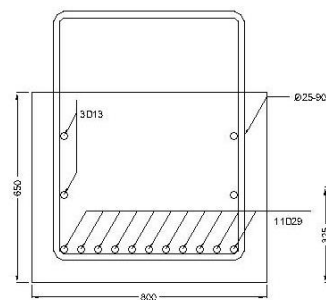
- B1 : 2D6



- B2 : 2D6 (5000 mm) dan 2D8 (6000 mm)

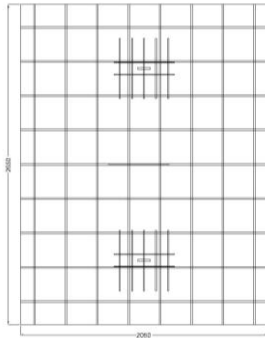


- B3 : 2D13

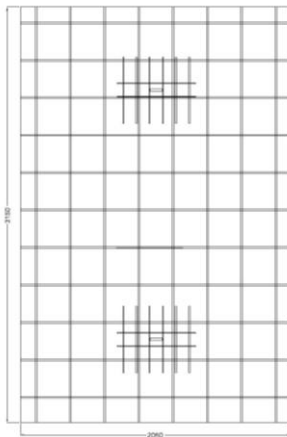


- B4 : 2D6
- Pelat1 : 5D10 (arah lebar)

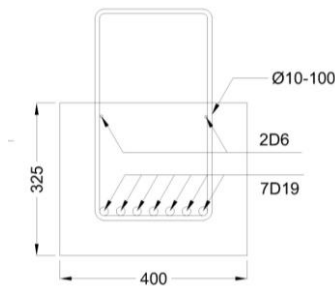
: 4D6 (arah panjang)



- Pelat2 : 6D10 (arah lebar)
: 4D6 (arah panjang)

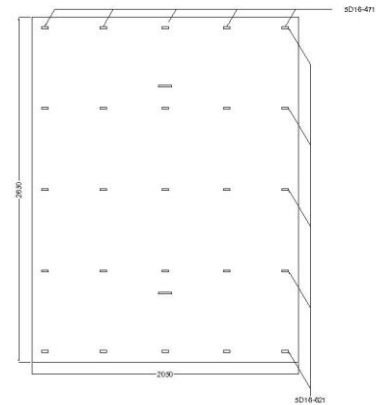


4. Berdasarkan perhitungan, didapatkan bahwa pada saat kondisi instalasi, pada semua elemen pracetak, tulangan bawah sudah mencukupi untuk menahan momen akibat instalasi, kecuali pada balok pracetak B4, sehingga ditambahkan tulangan bawah dari 6D19 menjadi 7D19.

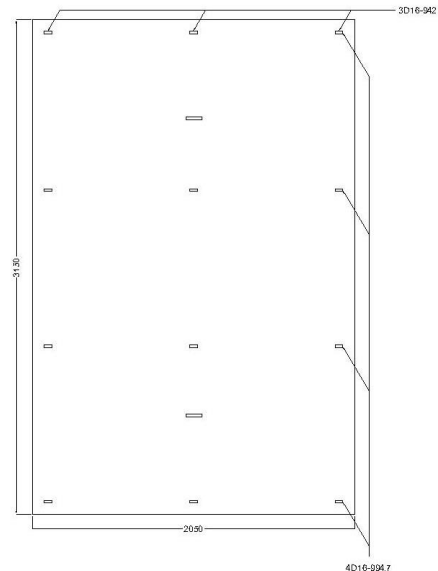


5. *Shear connector* yang dibutuhkan yaitu:

- Pelat1 : 5D16 (arah lebar)
: 5D16 (arah panjang)



- Pelat2 : 3D16 (arah lebar)
: 4D16 (arah panjang)



Untuk balok, sengkang dapat berperan sebagai *shear connector*.

6. *Lifting anchors* yang dibutuhkan yaitu:

- B1, diameter : 2Ø6
kedalaman : 25.09 mm
- B2, diameter : 2Ø6 (5000 mm), 2Ø8 (6000 mm)
kedalaman : 25.09 mm (5000 mm), 32.87 mm (6000 mm)
- B3, diameter : 2Ø8
kedalaman : 38.83 mm
- B4, diameter : 2Ø6
kedalaman : 16.79 mm

- Pelat1, diameter : 2Ø6
kedalaman : 25.19 mm
- Pelat2, diameter : 2Ø6
kedalaman : 28.26 mm

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Agar beton pracetak menjadi struktur yang monolit, diperlukan suatu sistem sambungan. Untuk balok, sengkang dapat berperan sebagai sambungan tersebut, sementara pada pelat, dibutuhkan penghubung geser (*shear connector*).
2. Pada saat pengangkatan beton pracetak, terjadi momen negatif dan momen positif, sehingga dibutuhkan tulangan minimum pada bagian atas beton pracetak dan pemeriksaan pada tulangan positif terhadap tulangan bawah yang sudah terpasang.
3. Pada saat instalasi, terjadi momen negatif sehingga dilakukan pemeriksaan apakah tulangan bawah yang didesain dalam keadaan terpasang sudah mencukupi, apabila tidak dilakukan penambahan tulangan. Apabila dengan menambahkan tulangan menyebabkan $\rho > \rho_{\max}$ maka dapat dengan meninggikan atau melebarkan elemen pracetak.

Adapun hal yang harus diperhatikan dalam pengerjaan analisis konstruksi struktur atas dermaga dengan beton pracetak ini yaitu

sebaiknya dari awal melakukan desain sudah dipertimbangkan metode pengerjaannya sehingga desain bisa dibuat mempermudah proses konstruksi. Misalnya, perencana harus memilih suatu jarak tiang yang seimbang sehingga biaya konstruksi bagian atas (*upper structure*) sebanding dengan biaya fondasinya. Perencana juga bisa memilih struktur dengan hanya menggunakan satu jenis balok dan pelat untuk seluruh dermaga sehingga makin banyak pekerjaan berulang yang dilakukan dan lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute, 2008. "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary." American Concrete Institute: MI.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia." Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan: Bandung.
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan, 2002. "SNI 03-1729 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung." Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Triatmodjo, Prof. Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, DEA, 2009, "*Perencanaan Pelabuhan*." Beta Offset Yogyakarta: Yogyakarta.
- PCI, "Designing with Precast and Prestressed Concrete." USA.