

PERANCANGAN DERMAGA BONGKAR BATUBARA DI LAUT JAWA DENGAN BETON PRACETAK

Design of Coal Fired Power Plant Unloading Wharf in Java Sea using Precast Concrete

Rabbani Mahatma Bagaskara¹ dan Sri Murti Adiyastuti²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10, Bandung, 40132

[1rabbani.bagaskara@gmail.com](mailto:rabbani.bagaskara@gmail.com) dan [2adiyastuti@ocean.itb.ac.id](mailto:adiyastuti@ocean.itb.ac.id)

ABSTRAK

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi maka meningkat pula kebutuhan akan listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan batubara sebagai sumber energi adalah tipe pembangkit listrik yang paling banyak digunakan di Indonesia. Studi kasus yang digunakan adalah PLTU 1000 MW di Cirebon yang membutuhkan sebuah fasilitas dermaga bongkar batubara di Laut Jawa untuk kapal 15000 DWT. Pembangunan dermaga di laut menjumpai beberapa kesulitan salah satunya kondisi lingkungan laut yang berbeda dengan darat. Dengan mempertimbangkan kemudahan dalam proses konstruksinya maka beton pracetak sebagai struktur atas dermaga adalah salah satu solusi dari masalah ini. Dengan menggunakan metode beton pracetak ini, sebagian besar pekerjaan pembetonan yang dilakukan di laut dapat dipindahkan menjadi di darat.

Berdasarkan berdasarkan data lingkungan, data kapal rencana, dan data operasional maka dilakukan perancangan struktur dermaga berdasarkan The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI) dan dilakukan analisis struktur dengan perangkat lunak SAP2000. Hasil output dari analisis struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000 yaitu Unity Check Ratio, defleksi struktur, gaya dalam, dan reaksi perletakan. Hasil pemodelan digunakan untuk perancangan tulangan elemen struktur yaitu balok, pelat, dan pile cap. Berdasarkan hasil penulangan tersebut maka dilakukan perancangan elemen beton pracetak yang mencakup balok dan pelat. Elemen beton pracetak kemudian dilakukan analisis pengangkatan, analisis instalasi dan analisis tumpuan. Konsep perancangan mengacu pada SNI 7833:2012 dan SNI 2847:2013. Hasil pemodelan juga digunakan untuk menganalisis daya dukung tanah untuk pondasi dalam.

Kata kunci : dermaga *deck on pile*, beton pracetak, desain struktur, analisis struktur atas, SAP2000.

PENDAHULUAN

Pada tahun 2015 pemerintah Indonesia meresmikan peluncuran program 35.000 megawatt Listrik untuk Indonesia dengan tiga tujuan strategis. Pertama, pemeratakan pasokan listrik di daerah-daerah yang belum mendapatkan aliran listrik. Kedua, menambah cadangan listrik sebesar 30% di atas beban puncak pada hampir semua wilayah. Ketiga, menjadikan listrik sebagai pendorong pertumbuhan industri dan wilayah. Jawa Barat adalah propinsi yang memiliki jumlah penduduk terbanyak di Indonesia yakni 46,7 juta jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk 1,48% pada 2015 (Provinsi Jawa Barat dalam Angka, 2016). Dengan jumlah penduduk yang banyak dan seiring dengan pertumbuhan tersebut maka dibutuhkan pasokan listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik di Jawa Barat.

Studi kasus yang digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berkapasitas 1.000 MW direncanakan untuk dibangun di Cirebon, Jawa Barat sebagai tahap ekspansi dari PLTU Cirebon unit I. PLTU Cirebon unit II ini akan dioperasikan oleh PT. Cirebon Electric Power dengan batubara sebagai sumber energinya. Hal ini menyebabkan fasilitas dermaga bongkar (*unloading*) batubara menjadi sebuah kebutuhan.

Dengan mempertimbangkan kemudahan dalam proses konstruksi, maka akan digunakan beton pracetak sebagai struktur atas dermaga. Beton pracetak merupakan beton yang dicetak sesuai bentuk yang diinginkan di lokasi lain, bukan di lokasi akhir tempat pemasangannya sehingga sebagian besar pekerjaan pembetonan yang dilakukan di laut dapat dipindahkan menjadi di darat.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan desain dermaga batubara tipe *deck on pile*, analisis konstruksi struktur atas dermaga dengan menggunakan beton pracetak, dan analisis daya dukung tanah pada dermaga bongkar PLTU Cirebon unit II. Dermaga rencana terletak di Desa Kanci, Kecamatan Astanajapura, Kabupaten Cirebon, Jawa Barat, Indonesia. Peta Cirebon ditunjukkan oleh Gambar 1 dan peta rencana pengembangan PLTU Cirebon unit II ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1 Peta Cirebon



Gambar 2 Peta rencana pengembangan PLTU Cirebon unit II

TEORI DAN METODOLOGI

1.) Pelabuhan

Pelabuhan Laut adalah pelabuhan yang dapat digunakan untuk melayani kegiatan angkutan laut dan/atau angkutan penyeberangan yang terletak di laut atau di sungai.

2.) Terminal

Terminal Curah Kering, tempat kegiatan bongkar muat komoditas curah kering seperti batubara, semen, dan sereal (gandum, kedelai, jagung, dan sebagainya) dalam jumlah besar dan tidak terkemas.

Terminal untuk Kepentingan Sendiri adalah terminal yang terletak di dalam Daerah Lingkungan Kerja dan Daerah Lingkungan Kepentingan pelabuhan yang merupakan bagian dari pelabuhan untuk melayani kepentingan sendiri sesuai dengan usaha pokoknya.

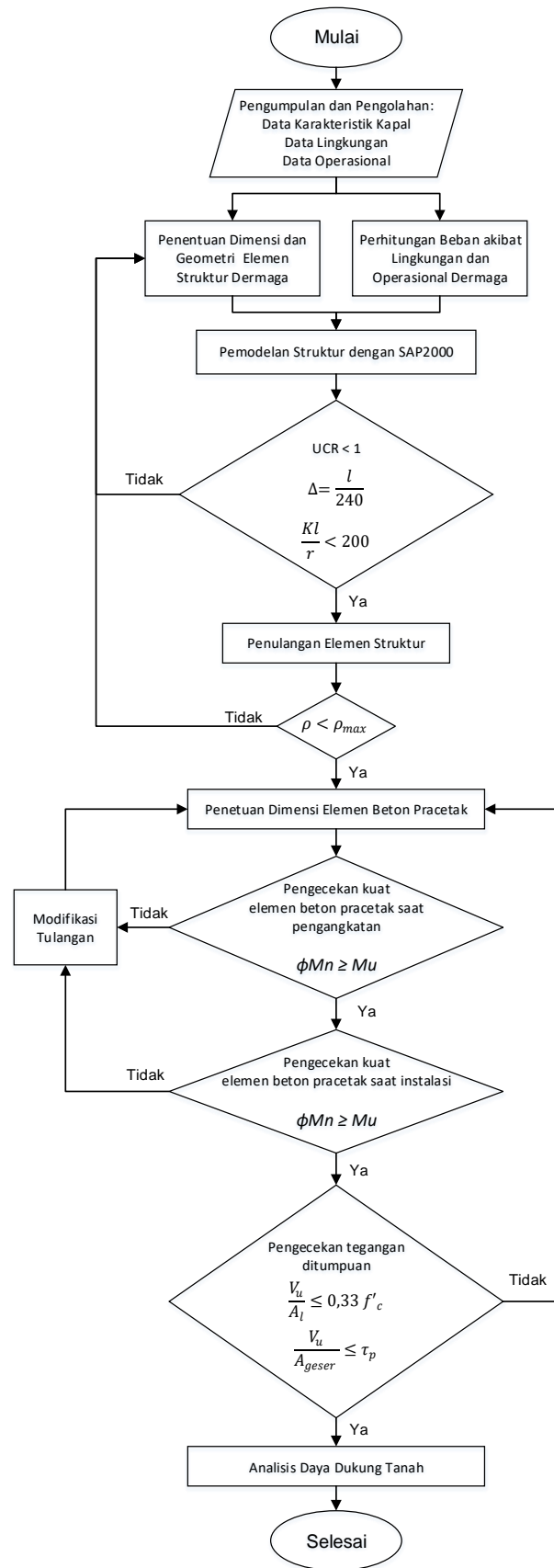
3.) Dermaga

Jenis dermaga Wharf / Quay adalah dermaga yang dibangun secara parallel/sejajar terhadap garis pantai menggunakan struktur deck on pile menggunakan tiang pancang sebagai pondasi bagi lantai dermaga.

Struktur dermaga didesain menggunakan standar desain dan referensi berikut:

- ACI 318-08 *Building Code Requirements for Structural Concrete* (Appendix D).
- ASCE Standard 7-10 – *American Society of Civil Engineering, Combination Loads*.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971
- *PCI Design Handbook Precast and Presressed Concrete 7th Edition*
- Peta *Hazard Gempa* Indonesia 2010.
- *Principles of Foundation Engineering Sixth Edition*, Braja M.Das
- SNI 1726:2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
- SNI 1729:2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung.
- SNI 7833:2012, Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung.
- SNI 2847:2013, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- SNI 2051:2014, Baja Tulangan Beton.
- SNI 1729:2015, Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
- *Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan 2002* - *The Overseas Coastal Area Development Institut of Japan (OCDI)*.

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram alur pengerjaan tugas akhir

Perencanaan struktur dermaga bongkar batubara di Cirebon ini dilakukan dengan mempertimbangkan kapal rencana yang akan bertambat, kondisi lingkungan di lokasi rencana yakni pasang surut, angin, gelombang, arus, batimetri, dan data tanah, dan data operasional pada dermaga yakni *Grab Ship Type Unloader (GTSU)*, konveyor, dan kendaraan inspeksi.

Data-data yang digunakan dalam perencanaan dermaga ini adalah sebagai berikut:

1. Data karakteristik kapal

Kapal 15000 DWT dengan LOA 118 m, lebar 30 m, draft 6,5 m, dan *freeboard* 3,1 m.

2. Data Lingkungan

a. Tunggang pasang surut: 101,82 cm

b. Data angin adalah kecepatan angin maksimum per arah:

Tabel 1 Data Angin

Kecepatan Angin Maksimum (m/s)							
Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut	Utara	Timur Laut
12,9	6,2	24,7	11,3	26,7	8,2	27,8	17,5

c. Data gelombang:

Tabel 2 Data Gelombang

Arah (dari)	Tinggi Gelombang (m)	Periode (s)
Timur	3,05	4,74
Barat Laut	2,31	4,50
Utara	4,44	5,07
Timur Laut	4,65	5,11

d. Data Arus:

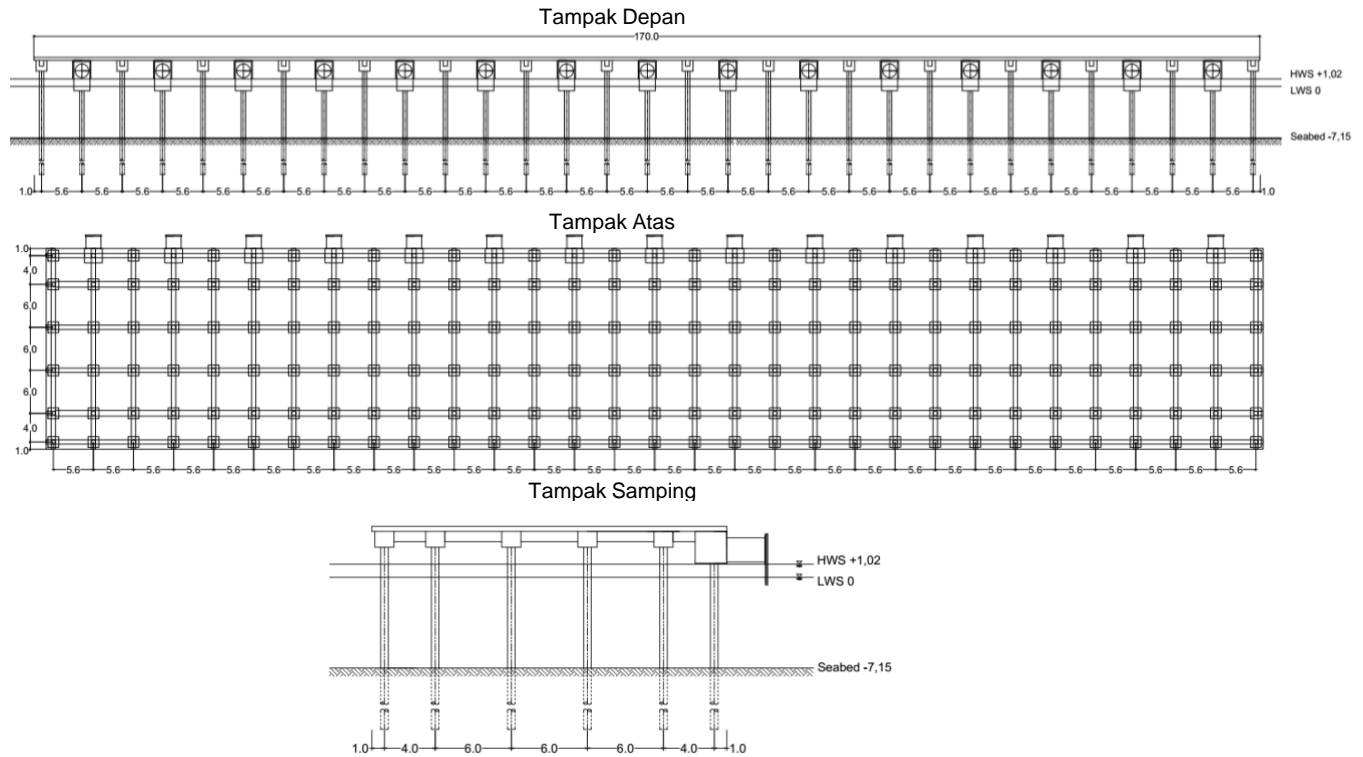
Tabel 3 Data Arus

Arah	Kecepatan Arus (m/s)
Timur	0,38
Tenggara	0,43
Selatan	0,3
Barat Daya	0,25
Barat	0,3
Barat Laut	0,27
Utara	0,6
Timur Laut	0,3

e. Batimetri: kedalaman yang digunakan adalah 7,35 m

HASIL DAN ANALISIS

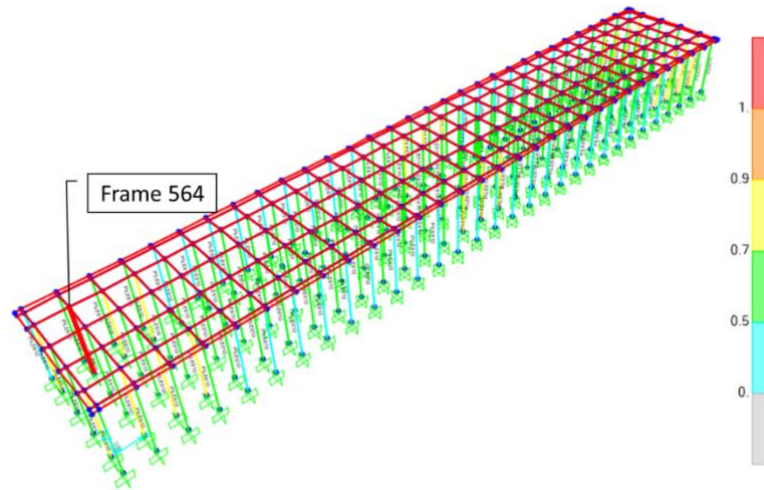
Berdasarkan OCDI maka didapatkan dimensi dermaga seperti layout pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Ilustrasi layout dermaga

Dari data-data yang sudah diolah dilakukan pemodelan dan analisis desain struktur dermaga dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Struktur yang dimodelkan adalah struktur dermaga dengan elemen struktur balok, pelat, dan tiang pancang dengan memasukkan beban-beban yang bekerja dan kombinasinya.

Hasil UCR terbesar yang didapatkan adalah sebesar 0,85 akibat kombinasi 5.1.1.1 (1,2D + 1,0L + 1 (W+C+B)) ditunjukkan oleh Gambar 5 dan dengan displacement terbesar 0,06 m dari batas maksimum 0,066 m pada arah y akibat kombinasi 6.1.3.3 (1,2D + 1,0 L + 1 (W+C+M)). Dengan demikian dermaga memenuhi persyaratan.



Gambar 5 Nilai UCR terbesar

Dari output SAP2000 didapatkan gaya dalam yang digunakan untuk penulangan elemen struktur dermaga. Dari perhitungan penulangan didapatkan desain elemen struktur sebagai berikut.

- **Tiang Pancang** : diameter 610 mm dengan tebal 11,1 mm.
- **Balok**
 - **Balok Memanjang**
 - Dimensi Penampang : 600 mm x 800 mm x 5600 mm
 - Tulangan Lentur Atas : BJTS-40 D25, 4 buah
 - Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D25, 4 buah
 - Tulangan Geser : BJTP-30 D6, spasi 350 mm
 - **Balok Melintang 1**
 - Dimensi Penampang : 600 mm x 800 mm x 6000 mm
 - Tulangan Lentur Atas : BJTS-40 D25, 6 buah
 - Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D25, 5 buah
 - Tulangan Geser : BJTP-30 D6, spasi 350 mm
 - **Balok Melintang 2**
 - Dimensi Penampang : 600 mm x 800 mm x 4000 mm
 - Tulangan Lentur Atas : BJTS-40 D25, 4 buah
 - Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D25, 5 buah
 - Tulangan Geser : BJTP-30 D6, spasi 350 mm
 - **Balok GTSU**
 - Dimensi Penampang : 800 mm x 1000 mm x 5600 mm
 - Tulangan Lentur Atas : BJTS-40 D32, 8 buah

- Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D32, 10 buah
- Tulangan Geser : BJTP-30 D19, spasi 80 mm
- **Balok Kantilever**
- Dimensi Penampang : 600 mm x 800 mm x 1000 mm
- Tulangan Lentur Atas : BJTS-40 D25, 4 buah
- Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D25, 4 buah
- Tulangan Geser : BJTP-30 D6, spasi 350 mm
- **Pelat**
- **Pelat Tipe 1**
- Dimensi Penampang : 6000 mm x 5600 mm x 400 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 166 mm
- **Pelat Tipe 2**
- Dimensi Penampang : 5600 mm x 4000 mm x 400 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 166 mm
- **Pelat Tipe 3**
- Dimensi Penampang : 6000 mm x 1000 mm x 400 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- **Pelat Tipe 4**
- Dimensi Penampang : 5600 mm x 1000 mm x 400 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- **Pelat Tipe 5**
- Dimensi Penampang : 4000 mm x 1000 mm x 400 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- **Pelat Tipe 6**
- Dimensi Penampang : 1000 mm x 1000 mm x 400 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- **Pile cap**
- **Pile cap Tunggal**
- Dimensi Penampang : 1500 mm x 1500 mm x 1500 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D25, 7 buah, spasi 212 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D25, 7 buah, spasi 212 mm

- ***Pile cap Fender***
 - Dimensi Penampang : 2500 mm x 2000 mm x 2500 mm
 - Tulangan Memanjang : BJTS-40 D25, 18 buah, spasi 133 mm
 - Tulangan Melebar : BJTS-40 D25, 14 buah, spasi 136 mm

Dari hasil penulangan tersebut kemudian dilakukan perencanaan untuk elemen beton pracetak sehingga didapatkan elemen beton pracetak seperti berikut.

- **Balok**

- **Balok Memanjang**
 - Dimensi Penampang : 600 mm x 400 mm x 4300 mm
 - Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D25, 4 buah
 - Tulangan Geser : BJTP-30 D6, spasi 350 mm
 - Tulangan Pengangkatan : BJTS-40 D22, 2 buah
 - Angkur Pengangkatan : D6, 2 buah, kedalaman 25 mm
- **Balok Melintang 1**
 - Dimensi Penampang : 600 mm x 400 mm x 4700 mm
 - Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D25, 6 buah
 - Tulangan Geser : BJTP-30 D6, spasi 350 mm
 - Tulangan Pengangkatan : BJTS-40 D22, 2 buah
 - Angkur Pengangkatan : D6, 2 buah, kedalaman 26 mm
- **Balok Melintang 2**
 - Dimensi Penampang : 600 mm x 400 mm x 2700 mm
 - Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D25, 5 buah
 - Tulangan Geser : BJTP-30 D6, spasi 350 mm
 - Tulangan Pengangkatan : BJTS-40 D22, 2 buah
 - Angkur Pengangkatan : D6, 2 buah, kedalaman 18 mm
- **Balok GTSU**
 - Dimensi Penampang : 800 mm x 600 mm x 4300 mm
 - Tulangan Lentur Bawah : BJTS-40 D32, 10 buah
 - Tulangan Geser : BJTP-30 D19, spasi 80 mm
 - Tulangan Pengangkatan : BJTS-40 D22, 4 buah
 - Angkur Pengangkatan : D6, 2 buah, kedalaman 39 mm

- **Pelat**

- **Pelat Tipe 1**
 - Dimensi Penampang : 5550 mm x 5150 mm x 200 mm
 - Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm

- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 166 mm
- Tulangan Angkat Memanjang : BJTS-40 D10, 4 buah, spasi 168 mm
- Tulangan Angkat Melebar : BJTS-40 D10, 5 buah, spasi 168 mm
- Angkur Pengangkatan :8, kedalaman 48 mm
- Penghubung Geser Memanjang : Paku D16, 40 buah, spasi 139 mm
- Penghubung Geser Melebar : Paku D16, 46 buah, spasi 112 mm

○ **Pelat Tipe 2**

- Dimensi Penampang : 5150 mm x 3550 mm x 200 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 166 mm
- Tulangan Angkat Memanjang : BJTS-40 D10, 2 buah, spasi 168 mm
- Tulangan Angkat Melebar : BJTS-40 D10, 3 buah, spasi 168 mm
- Angkur Pengangkatan : D8, 4 buah, kedalaman 36 mm
- Penghubung Geser Memanjang : Paku D16, 37 buah, spasi 139 mm
- Penghubung Geser Melebar : Paku D16, 33 buah, spasi 108 mm

○ **Pelat Tipe 3**

- Dimensi Penampang : 5550 mm x 775 mm x 200 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 166 mm
- Tulangan Angkat Memanjang : BJTS-40 D10, 1 buah
- Tulangan Angkat Melebar : BJTS-40 D10, 1 buah
- Angkur Pengangkatan : D8, 4 buah, kedalaman 14 mm
- Penghubung Geser Memanjang : Paku D16, 39 buah, spasi 142 mm
- Penghubung Geser Melebar : Paku D16, 8 buah, spasi 97 mm

○ **Pelat Tipe 4**

- Dimensi Penampang : 5150 mm x 775 mm x 200 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 166 mm
- Tulangan Angkat Memanjang : BJTS-40 D10, 1 buah
- Tulangan Angkat Melebar : BJTS-40 D10, 1 buah
- Angkur Pengangkatan : D6, 4 buah, kedalaman 13 mm
- Penghubung Geser Memanjang : Paku D16, 36 buah, spasi 143 mm
- Penghubung Geser Melebar : Paku D16, 8 buah, spasi 97 mm

○ **Pelat Tipe 5**

- Dimensi Penampang : 3550 mm x 775 mm x 200 mm
- Tulangan Memanjang : BJTS-40 D19, spasi 207 mm
- Tulangan Melebar : BJTS-40 D19, spasi 166 mm

- Tulangan Angkat Memanjang : BJTS-40 D10, 1 buah
- Tulangan Angkat Melebar : BJTS-40 D10, 1 buah
- Angkur Pengangkatan : D8, 4 buah, kedalaman 10 mm
- Penghubung Geser Memanjang : Paku D16, 25 buah, spasi 142 mm
- Penghubung Geser Melebar : Paku D16, 8 buah, spasi 97 mm

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada saat pengangkatan elemen beton pracetak, terjadi momen positif dan momen negatif. Diperlukan pengecekan tulangan lentur bawah yang telah terpasang terhadap momen positif yang terjadi, serta diperlukan tulangan minimum pada bagian atas beton pracetak.
2. Pada saat instalasi, hanya terjadi momen positif, sehingga hanya diperlukan pengecekan tulangan lentur bawah yang telah terpasang terhadap momen positif yang terjadi.
3. Agar beton pracetak menjadi struktur yang monolit dengan beton cor insitu, diperlukan suatu sistem sambungan. Pada balok, tulangan geser berfungsi sebagai sambungan tersebut, sedangkan pada pelat dibutuhkan tambahan penghubung geser (shear connector). Pada balok maupun pelat dibutuhkan tambahan tulangan pengangkatan dan dibutuhkan angkur pengangkatan sebagai tulangan titik tumpu pada saat pengangkatan.

Adapun saran untuk menjadikan studi ini menjadi lebih baik adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisis perbandingan antara metode pengangkatan dengan empat titik tumpu dan dengan dua titik tumpu untuk mendapatkan penulangan yang optimal
2. Perlu dilakukan analisis perbandingan antara penggunaan penghubung geser tipe paku dan penghubung geser tipe kanal untuk mendapatkan hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute. (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*.

BSN. (2002). *SNI 1729:2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*.

BSN. (2002). *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.

BSN. (2012). *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non-Gedung*.

- BSN. (2012). *SNI 7833:2012 Tata Cara Perencanaan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung*.
- BSN. (2014). *SNI 2051:2014 Baja Tulangan Beton*.
- BSN. (2015). *SNI 1729:2015 Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural*.
- Buchart, H. d. (1999). *Port Engineering, Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning*. Aalborg Universitet, Denmark.
- Das, B. M. (2007). *Principles of Foundation Engineering, Sixth Edition*.
- Kementrian Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*.
- Kementrian Pekerjaan Umum. (2012). *Peta Zonasi Gempa Indonesia*.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2014). *Design of Reinforced Concrete*.
- OCDI. (2002). *Technical Standards and Commentaries of Port and Harbor Facilities in Japan*. Tokyo: Japan Ports and Harbours Association.
- Precast/Prestressed Concrete Institute. (2010). *PCI Design Handbook 7th Edition*.
- Thoresen, C. A. (2003). *Port Designer's Handbook*. Australia: Thomas Telford Publishing.
- Trelleborg. (2007). *Safe Berthing and Mooring*. Dubai: Trelleborg Marine System.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*.