

**PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG DAN TIANG BOR
PADA PEKERJAAN PEMBUATAN ABUTMENT
JEMBATAN LABUHAN MADURA**

Rizqi Annizaar¹, Suroso², Harimurti³

Mahasiswa¹, Dosen²

Fakultas Teknik

Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia

Telp.: +62341587710, 587711; Fax: +62341551430

Web address: <http://teknik.ub.ac.id>; e-mail: teknik@ub.ac.id

Abstrak

Perencanaan pondasi bertujuan untuk membandingkan besarnya jumlah biaya yang dibutuhkan dalam pekerjaan pembuatan pondasi untuk abutment jembatan Labuhan Madura. Sehingga nantinya dari dua jenis pondasi dapat dipilih untuk digunakan. Perencanaan pondasi ini menggunakan perhitungan kapasitas dukung ultimit cara statis. Yang mana cara ini dihitung dengan menggunakan teori-teori mekanika tanah. Dimana parameter-parameter tanah yang digunakan adalah: ϕ , c , c_d , dan γ pada kondisi tak terdrainase. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah diketahui bahwa jenis tanah di dominasi oleh tanah pasir. Sehingga untuk estimasi kapasitas dukung tiang diperoleh dari data pengujian di lapangan, seperti pengujian SPT. Dari perencanaan didapat jumlah tiang untuk tiang pancang adalah 70 buah ($Q_{ijin} = 556,6786$ kN/tiang) dengan estimasi biaya adalah Rp.1.974.102.300,- dan untuk tiang bor adalah 56 buah ($Q_{ijin} = 684,1668$ kN/tiang) dengan estimasi biaya adalah Rp. 9.460.902.248,-. Sehingga pondasi tiang pancang memiliki jumlah biaya yang lebih ekonomis.

Kata kunci: Abutment, Pondasi, Tiang Pancang, Tiang Bor

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan salah satu masalah yang sangat sering terjadi di ruas jalan yang ada di Indonesia termasuk di ruas jalan Sreseh – Pamekasan, Kabupaten Sampang, Madura. Saat banjir terjadi pada ruas jalan Sreseh – Pamekasan, ruas jalan tersebut tidak dapat dilalui akibat dari genangan banjir. Selain tidak dapat dilalui, banjir juga menjadi penyebab utama dari

kerusakan perkerasan jalan pada ruas yang selalu tergenangi banjir.

Untuk menanggulangi hal tersebut salah satu solusi yang dilakukan adalah dengan merencanakan suatu jalan baru yang nantinya akan difungsikan sebagai Jalan Lingkar Selatan di Pulau Madura. Jalan yang direncanakan tersebut akan melalui DAS Sungai Baliga yang terletak

di desa Labuhan sehingga pada perencanaan jalan tersebut perlu pula direncanakan sebuah jembatan yang akan melintasi sungai tersebut. Jembatan tersebut akan diberi nama Jembatan Labuhan karena letaknya tersebut.

Jembatan Labuhan yang memiliki lebar total 20 meter tersebut menurut perencanaannya akan dibangun secara bertahap. Sehingga diperlukan pemilihan pondasi yang akan digunakan pada jembatan tersebut agar dapat menahan beban yang dipikulnya. Yang mana nantinya pemilihan tipe pondasi ini didasarkan pada aspek keuntungan dari segi kecepatan dan kemudahan dalam pelaksanaan, kekuatan, biaya pemeliharaan dan biaya konstruksi yang minimum.

Pemilihan tipe pondasi yang akan kita gunakan diperlukan karena kondisi tanah pada lokasi pembangunan Jembatan Labuhan bukan merupakan tanah keras. Hasil dari uji SPT (*Standart Penetration Test*) yang dilakukan pada lokasi tersebut belumlah mencukupi standar yang telah ditetapkan yaitu percobaan SPT akan dihentikan setelah didapatkan harga SPT ≥ 60 sebanyak 3 (tiga) kali berturut – turut.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, dibuat suatu rumusan masalah yang digunakan sebagai pertanyaan penelitian (*research question*). Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan pondasi tiang pancang Jembatan Labuhan?
2. Bagaimana merencanakan pondasi tiang bor pada Jembatan labuhan?
3. Stabillkah pondasi yang direncanakan untuk Jembatan Labuhan?
4. Berapa besar biaya yang dibutuhkan dari setiap jenis pondasi yang akan direncanakan untuk Jembatan Labuhan?
5. Jenis pondasi manakah yang paling ekonomis dan efisien untuk konstruksi pekerjaan Jembatan Labuhan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dibutuhkan agar pembahasan tidak keluar dari tujuan awal yang ingin dicapai. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan hanya sampai tahap perencanaan.
2. Data yang digunakan adalah data survei yang diperoleh dari konsultan perencana yang telah ditunjuk untuk melaksanakan pekerjaan perencanaan Jalan Lingkar Selatan di Pulau Madura.
3. Perencanaan pembebanan menggunakan RSNI T – 02 – 2005 dan PPPJIR 1987.
4. Struktur yang direncanakan adalah pondasi pada *Abutment* pada titik B5 Jembatan Labuhan.

1.4 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh penulis untuk pembaca dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui bagaimana merencanakan pondasi tiang pancang pada Jembatan Labuhan.
2. Mengetahui bagaimana merencanakan pondasi tiang bor pada Jembatan Labuhan
3. Mengetahui besarnya biaya yang dibutuhkan untuk masing – masing jenis pondasi yang akan direncanakan untuk Jembatan Labuhan.
4. Mengetahui keekonomisan dan keefisienan dari jenis pondasi yang akan direncanakan untuk Jembatan Labuhan.

Penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberi banyak manfaat bagi para pembaca, antara lain adalah :

1. Menjadi referensi yang berguna bagi para akademisi dan praktisi teknik sipil.
2. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembebanan Jembatan

Pedoman pembebanan untuk perencanaan jembatan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya.

▪ **Beban Primer**

Yang termasuk dalam beban primer dalam pembebanan jembatan adalah sebagai berikut :

a. Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang diakibatkan oleh berat sendiri dari masing – masing elemen jembatan.

b. Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja pada jembatan harus ditinjau lagi dalam :

- Beban “T”
- Beban “D”
- Beban pada trotoir, kerb, dan sandaran
- Beban Kejut

▪ **Beban Sekunder**

- Beban angin
- Gaya Rem
- Gaya Akibat Gempa

2.2 Pondasi

Pondasi secara umum dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kelompok besar sebagai berikut :

1. Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

- Pondasi telapak (*Spread Footing*)
- Pondasi rakit (*Raft/mat Foundation*)

2. Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

- Pondasi tiang (*Pile Footing*)
- Pondasi sumuran (*Well Footing*)
- Pondasi kaison (*Caisson Footing*)

2.3 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung struktur/bangunan bila lapisan kuat terletak sangat dalam. Alasan memilih untuk menggunakan pondasi tiang antara lain :

- Dapat melimpahkan beban ke lapisan tanaah pendukung yang kuat.
- Dapat menahan gaya angkat.
- Dapat menahan gaya horizontal.
- Dapat memadatkan tanah pasir lepas.
- Dapat mengurangi bahaya erosi.
- Dapat menahan beban melalui gesekan antara tanah dan pondasi

Tiang pancang yang biasa digunakan adalah tiang pancang pracetak yaitu tiang dari beton yang dicetak di suatu tempat dan kemudian diangkut ke lokasi rencana bangunan. Keuntungan penggunaan tiang pancang ini antara lain :

- a. Bahan tiang dapat diperiksa sebelum pemancangan.
- b. Prosedur pelaksanaan tidak dipengaruhi oleh air tanah.
- c. Tiang pancang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam.
- d. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granuler.

Kerugian pemakaian tiang pancang pracetak, antara lain :

- a. Punggungan permukaan tanah dan gangguan tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah.
- b. Kepala tiang kadang-kadang pecah akibat pemancangan.
- c. Pemancangan sulit, bila diameter terlalu besar.
- d. Pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran, dan deforms tanah yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan di sekitarnya.
- e. Banyaknya tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengakuan dan pemancangan tiang.

2.3.1 Daya Dukung Tiang

Daya dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung/memikul beban. Dalam beberapa literatur digunakan istilah *pile capacity* atau *pile carrying capacity*.

2.3.2 Daya Dukung Ultimit Cara Statis

Daya dukung ultimit netto tiang (Q_u) adalah jumlah dari tahanan ujung

bawah ultimit (Q_b) dengan tahanan gesek ultimit (Q_s) antara dinding tiang dan tanah disekitarnya dikurangi dengan berat sendiri tiang (W_p). Bila dinyatakan dalam persamaan, maka :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

Dimana :

W_p = berat sendiri tiang (kN)

Q_u = kapasitas dukung ultimit netto (kN)

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

2.3.3 Daya Dukung Tiang Pada Tanah Non Kohesif/Granuler

▪ Daya Dukung/Tahanan Ujung Batas

Pada tanah granuler tidak mempunyai kohesi ($c = 0$) dan diameter tiang relative kecil dibandingkan dengan panjangnya sehingga suku persamaan $c_b \cdot N_c = 0$ dan $0,5 \cdot \gamma_d \cdot N_\gamma$ dapat diabaikan sehingga :

$$Q_b = A_b \cdot p_b \cdot N_q$$

Dimana :

Q_b = daya dukung ujung batas.

A_b = luas penampang ujung.

p_b = tekanan overburden.

N_q = faktor daya dukung.

▪ Daya Dukung/Tahanan Gesek Batas

Daya dukung/tahanan geser satuan q_s atau f_s terjadi bila tegangan geser sepanjang tiang – tanah melebihi kuat geser. Hal ini memerlukan perpindahan (*displacement*) hanya 5 – 10 mm. Tahanan geser batas antara tiang dengan tanah non kohesif (pasir) dapat ditulis berdasarkan persamaan umum diatas. Tanah non kohesif/granular adalah lolos air maka analisis didasarkan tinjauan tegangan efektif.

$$Q_s = \sum A_s \cdot K_d \cdot \tan \delta \cdot P_o$$

Dimana :

A_s = luas selimut tiang

K_d = koefisien tekanan tanah yang bergantung pada kondisi tanah

$\delta = 2/3 \times \emptyset =$ sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

P_o = tekanan vertikal efektif rerata di sepanjang tiang yang besarnya sama dengan dengan tekanan overburden efektif

untuk $z \leq z_c$ dan sama dengan tekana vertikal kritis untuk $z \geq z_c$

▪ Daya Dukung Terhadap Gaya Tarik

Untuk menghitung kapasitas tarik tiang digunakan metode Coyle dan Castello (1981).

$$T_a = \frac{Q_s}{5} + (0,9 \times W_{\text{tiang}})$$

Dimana :

Q_s = daya dukung gesek batas

W_{tiang} = berat tiang yang tertanam dalam tanah

▪ Daya Dukung Terhadap Gaya Lateral

Kapasitas momen tiang didasarkan dari momen pengangkatan tiang.

Sedangkan kapasitas tanah pendukung didasarkan pada rumus berikut ini:

$$M_{\max} = \gamma' x d x l^3 x K_p$$

Dimana :

γ' : Berat volume tanah (saturated) lapisan tanah asli

d : Diameter tiang pancang

l : Panjang tiang dibawah pile cap

K_p : Koefisien tekanan tanah pasif

\emptyset : Sudut geser

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H}{d \cdot K_p \cdot \gamma}}$$

Dimana :

$$H_u = \frac{2 M_y}{e + \frac{2f}{3}}$$

▪ Efisiensi Tiang

Menurut Vesic (1976), pada tiang yang dipancang pada tanah granuler, kapasitas kelompok tiang lebih besar daripada jumlah kapasitas masing-masing tiang didalam kelompoknya. Keadaan ini menyebabkan efisiensi kelompok tiang cenderung lebih besar dari 1 (>100%).

2.4 Pondasi Tiang Bor

Jika tiang pancang dipasang dengan cara dipukul ke dalam tanah, tiang bor dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian dimasukkan tulangan yang telah dirangkai ke dalam lubang bor dan

kemudian dicor beton. Keuntungan pemakaian tiang bor dibanding tiang pancang adalah :

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutup tiang (*pile cap*).
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar.
5. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah.
6. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan

Kerugiannya :

1. Pengecoran tiang bor dipengaruhi oleh kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
4. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.

2.4.1 Daya Dukung Tiang Pada Tanah Non Kohesif/Granuler

▪ Daya Dukung Ujung Tiang

Daya dukung ujung tiang untuk tanah granuler berdasarkan metode Poulos dan Davis (1980) :

$$Q_b = A_b \cdot p_b' \cdot N_q$$

Dimana :

p_b' = tekanan vertikal efektif pada ujung tiang (kN/m^2)

N_q = faktor kapasitas dukung

A_b = luas dasar tiang bor

Q_b = daya dukung ujung tiang

▪ Daya Dukung Gesek Tiang

Tahanan gesek satuan tiang bor dalam pasir dinyatakan oleh :

$$f_s = \beta \cdot p_o$$

$$\beta = K \cdot \tan \delta$$

Atau koefisien β juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) :

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z} \quad \text{dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2$$

atau

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{z}) \quad \text{untuk } N_{60} \leq 15$$

Dimana :

f_s = tekanan gesek satuan (kN/m^2)

p_o = tekanan overburden di tengah-tengah lapisan tanah (kN/m^2)

δ = sudut gesek antara tanah dan tiang

Sehingga :

$$Q_s = A_s \cdot \beta \cdot P_o$$

2.4.2 Daya Dukung Aksial Tiang

Daya dukung aksial tiang terdiri dari daya dukung ujung dasar tiang dan daya dukung gesek permukaan keliling tiang, dikurangi berat sendiri tiang dengan rumusan :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_b + Q_s}{F} - W$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung batas tiang

Q_b = Daya dukung batas dasar tiang

Q_s = Daya dukung batas gesekan tiang

F = Faktor keamanan tiang ($F = 3$)

W = Berat sendiri

2.5 Penurunan

Kondisi tanah yang didominasi oleh tanah pasir sehingga penurunan yang terjadi adalah penurunan segera (elastic). Penurunan segera terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering (tidak jenuh) terjadi segera setelah beban bekerja. Penurunan ini bersifat elastis, dalam praktek sangat sulit diperkirakan besarnya penurunan ini. Penurunan segera ini banyak diperhatikan pada fondasi bangunan yang terletak pada tanah granuler atau tanah berbutir kasar (Herman, 2014).

Penurunan segera kelompok tiang adalah :

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{E_g}{D}} S_e$$

Penurunan total pondasi dibawah beban vertikal Q_w :

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastic tiang

$S_{e(2)}$ = Penurunan pondasi oleh beban pada ujung tiang

$S_{e(3)}$ = Penurunan pondasi oleh beban sepanjang tiang

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \epsilon Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

Q_{wp} = Beban pada titik tiang dibawah kondisi beban kerja

Q_{ws} = Beban oleh resisten friksi dibawah kondisi beban kerja

A_p = Area *cross section* tiang

L = Panjang tiang

E_p = modulus elastisitas material tiang

Pada perencanaan struktur atau bangunan membutuhkan perkiraan besarnya penurunan maksimum dan perbedaan penurunan yang masih diijinkan untuk terjadi. Jika penurunan berjalan lambat maka semakin besar kemungkinan struktur/bangunan untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya kerusakan struktur akibat pengaruh rangkai.

Tabel 2.12 Batas penurunan maksimum Skempton dan MacDonald (1995)

Jenis pondasi	Batas penurunan (mm)
Pondasi terpisah pada tanah lempung	65
Pondasi terpisah pada tanah pasir	40
Pondasi rakit pada tanah lempung	65 – 100
Pondasi rakit pada tanah pasir	40 - 65

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Data Primer

Data primer dibutuhkan untuk diolah lebih lanjut lagi dalam penelitian ini. Data

primer dapat diperoleh sumber pihak pertama atau yang terlibat langsung dalam permasalahan yang akan dibahas.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat oleh peneliti dari sumber yang sudah ada. Data sekunder biasanya digunakan sebagai pendukung dari data primer yang kita miliki.

3.2 Spesifikasi Bangunan

Perencanaan jembatan (viaduct) pada tugas akhir ini adalah alternatif model desain pondasi Jembatan Labuhan. Data teknis jembatan yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- Tipe jembatan : beton prategang
- Klasifikasi jalan : kelas I A
- Lebar jembatan : 20 meter
- Panjang bentang : 40 meter
- Jumlah bentang : 2 buah
- Jumlah gelagar utama : 11 buah
- Jarak gelagar utama : 1,7 meter
- Tinggi jembatan : 7 meter

3.3 Peraturan Yang Digunakan

Untuk perencanaan dalam tugas akhir ini mengacu pada peraturan sebagai berikut :

- a. Standar pembebanan untuk jembatan menggunakan RSNI T – 02 2005 dan PPPJIR 1987.
- b. Ketentuan dan standar spesifikasi umum 2010 revisi III dan *software* AHS (Analisa Harga Satuan) tahun 2014.

3.4 Tahap Kegiatan Perencanaan

Secara umum, tahap kegiatan yang akan dilakukan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :

- a. Perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada jembatan.
- b. Perencanaan abutment jembatan
- c. Kontrol kestabilan abutment yang direncanakan
- d. Perencanaan tiang pancang
- e. Perencanaan tiang bor
- f. Penurunan yang terjadi

- g. Menghitung dan membandingkan rencana anggaran biaya untuk masing-masing pondasi yang direncanakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembebanan Jembatan

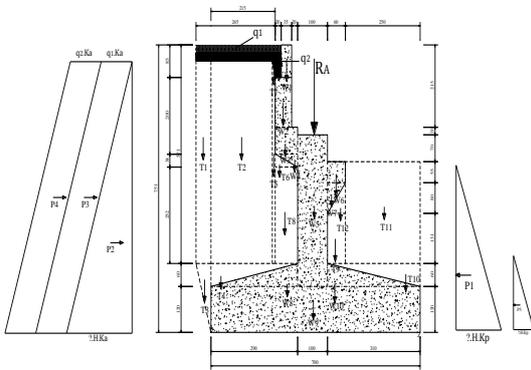
Dari perhitungan Staadpro untuk pembebanan jembatan yang terdiri dari pembebanan struktur atas dan pembebanan struktur bawah didapatkan V_u maksimal = 609376 kg

4.2 Perencanaan Abutment

Dari perhitungan pembebanan direncanakan abutment dengan :

$$R = 610876 \text{ kg}$$

$$H = 15303 \text{ kg}$$



Dari pembebanan abutment diatas didapatkan :

1. Gaya vertikal (V) = 3813220,60 kg
2. Gaya horisontal (H) = 375537,053 kg
3. Momen (M) = 29023455,56 kg

4.3 Kontrol Kestabilan Abutment

4.3.1 Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{MT}{MG} = \frac{30.793.352,78}{1.769.897,216} = 17,3984 > 2 \text{ (OK)}$$

4.3.2 Stabilitas Terhadap Geser

$$\frac{f \cdot \Sigma V + C \cdot A}{\Sigma H} > 1,5$$

$$\frac{0,0875 \times 3.813.220,60 + 0,4 \times 147}{375.537,052} > 1,5$$

$$0,88902 < 1,5 \text{ (TIDAK OK)}$$

4.3.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

$$q_u = c' \cdot 2N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$q_u = (0,4 \times 6,489 \times 1,231 \times 0,869) + (2954 \times 1,568 \times 1,084 \times 0,869) + (0,5 \times 1400 \times 3,6667 \times 1 \times 0,349)$$

$$= 4455,5602 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{\Sigma V}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) < \sigma_{\text{ijin}}$$

$$= \frac{3813220,60}{147} \left(1 \pm \frac{6 \times 1,6667}{7} \right)$$

$$\sigma_{\max} = 3347,13025 < 4455,5602 \text{ (OK)}$$

$$FS = \frac{4455,5602}{3347,13025} = 1,331158 < 3 \text{ (TIDAK OK)}$$

4.4 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

4.4.1 Kapasitas Dukung Ijin Tiang Terhadap Gaya Desak

a. Tahanan Gesek (Q_s)

Untuk tahanan gesek menggunakan persamaan:

$$Q_s = \Sigma A_s \cdot K_d \cdot \text{tg } \delta \cdot p_o$$

Dimana :

A_s = luas selimut tiang

K_d = koefisien tekanan tanah yang bergantung pada kondisi tanah

$\delta = 2/3 \times \phi =$ sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

p_o = tekanan vertikal efektif rerata di sepanjang tiang yang besarnya sama dengan tekanan overburden efektif untuk $z \leq z_c$ dan sama dengan tekana vertikal kritis untuk $z \geq z_c$

Lapisan	Kedalaman	Kd	ϕ	δ (ting beton)	Kd tan δ	As (m2)	Po (kN/m2)	As.Kd tan δ .Po (kN)	fs (kN/m2)	
1	0-2	1	5	3,333	0,05823	3,768	14	3,0717	0,2194	
2	2-12	1	8	12	0,2126	18,84	88	352,4737	4,0054	
3	12-30	1	13	8,667	0,1524	33,912	148	764,8919	5,1682	
								Q_s	1120,4373	5,1682

b. Tahanan Ujung (Qb)

Tahanan Ujung dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_b = A_b \times p_b \times N_q, \text{ dengan :}$$

Qb = tahanan ujung ultimit (kN)

p_b = tekanan vertikal efektif pada ujung tiang (kN/m²)

N_q = faktor kapasitas dukung

A_b = luas dasar tiang (m²)

Jadi :

$$\begin{aligned} Q_b &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times p_o \times N_q \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,6^2 \times 148 \times 1,568 \\ &= 65,5813 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin tiang terhadap daya desak (Qa) adalah:

$$Q_a = \frac{Q_b}{SF1} + \frac{Q_s}{SF2} - W_{\text{tiang}}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W_{\text{tiang}} &= \gamma \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times L \\ &= 25 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,6^2 \times 30 \\ &= 212,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{65,5813}{3} + \frac{1120,4373}{1,5} - 212,14 \\ &= 556,6768 \text{ kN/tiang} \end{aligned}$$

4.4.2 Kapasitas Dukung Ijin Terhadap Gaya Tarik

Untuk menghitung kapasitas tarik tiang digunakan metode Coyle dan Castello (1981).

$$\begin{aligned} T_a &= \frac{Q_s}{5} + (0,9 \times W_{\text{tiang}}) \\ &= \frac{1120,4373}{5} + (0,9 \times 212,14) \\ &= 415,01346 \text{ kN/tiang} \end{aligned}$$

4.4.3 Kapasitas Dukung Ijin Terhadap Gaya Lateral

Kapasitas tanah pendukung didasarkan pada rumus berikut ini:

$$\begin{aligned} M_{\text{max}} &= \gamma' \times d \times L^3 \times K_p \\ &= 14 \times 0,6 \times 30^3 \times 1,5805 \\ &= 358457,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk tiang ujung jepit yang kaku, keruntuhan tiang akan berupa translasi, beban lateral ultimit dinyatakan oleh :

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{3}{2} \times \gamma' \times d \times L^2 \times K_p \\ &= \frac{3}{2} \times 14 \times 0,6 \times 30^2 \times 1,5805 \\ &= 17922,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai f, digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} f &= 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d \cdot K_p \cdot \gamma}} \\ &= 0,82 \sqrt{\frac{17922,87}{0,6 \cdot 1,5805 \cdot 14}} \\ &= 30,1287 \end{aligned}$$

Sehingga untuk nilai Mu :

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{2 M_u}{e + \frac{2f}{3}} \\ 17922,87 &= \frac{2 M_u}{0,16667 + \frac{2 \cdot 30,1287}{3}} \end{aligned}$$

$$2 M_u = 362982,387$$

$$M_u = 181491,1935 \text{ kNm}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} H_a &= \frac{H_u}{SF1} \\ &= \frac{17922,87}{1,5} \\ &= 11948,58 \text{ kN/tiang} \end{aligned}$$

4.4.4 Kebutuhan Tiang Pancang

Jumlah tiang yang digunakan atau dibutuhkan :

$$\begin{aligned} n &= \frac{\Sigma V}{Q_a} \\ &= \frac{38.132,206}{556,6786} \\ &= 68,4995 \approx 69 \text{ tiang} \end{aligned}$$

Dalam perencanaan digunakan 70 tiang, dengan ketentuan :

- Jarak antar tiang (S_{horizontal}) = 1,5 m
- Jarak antar tiang (S_{vertikal}) = 1,5 m
- Jarak tiang ke tepi poer (horizontal) = 0,75 m
- Jarak tiang ke tepi poer (vertikal) = 0,5 m

Sehingga jumlah tiang pancang dalam arah :

Horizontal = 14 buah

Vertikal = 5 buah

4.4.5 Efisiensi Tiang

Menurut Vesic (1976), pada tiang yang dipancang pada tanah granuler, kapasitas kelompok tiang lebih besar daripada jumlah kapasitas masing-masing

tiang didalam kelompoknya. Keadaan ini menyebabkan efisiensi kelompok tiang cenderung lebih besar dari 1 (>100%).

4.5 Perencanaan Tiang Bor

4.5.1 Daya Dukung Ujung Tiang (Qb)

Daya dukung ujung tiang untuk tanah granuler berdasarkan metode Poulos dan Davis (1980) :

$$\begin{aligned} Q_b &= A_b \cdot p_b' \cdot N_q \\ &= 0,2826 \cdot 148 \cdot 1,568 \\ &= 65,5813 \text{ kN/tiang} \end{aligned}$$

4.5.2 Daya Dukung Gesekan Tiang (Qs)

Tahanan gesek satuan tiang bor dalam pasir dinyatakan oleh :

$$\begin{aligned} f_s &= \beta \cdot p_o \\ \beta &= K \cdot \text{tg } \delta \end{aligned}$$

Atau koefisien β juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) :

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z} \text{ dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2 \text{ atau}$$

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{z}) \text{ untuk } N_{60} \leq 15$$

Kedalaman	z	β	As (m ²)	Po (kN/m ²)	As.β.Po (kN)	fs
0-2	1	0	3,768	14	0	0
2-12	7	0,185	18,84	88	306,7152	16,28
12-30	21	0,377	33,912	148	1892,1539	55,796
				Qs	2198,8691	55,796

4.5.3 Kapasitas Dukung Ultimit

Kapasitas dukung ultimit dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} W_p &= 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L \cdot \gamma \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 30 \cdot 25 \\ &= 211,95 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \\ &= 65,5813 + 2198,8691 - 211,95 \\ &= 2052,5004 \text{ kN/tiang} \end{aligned}$$

4.5.4 Kapasitas Dukung Ijin

Kapasitas dukung ijin dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= \frac{Q_b + Q_s}{F} - W_p \\ &= \frac{65,5813 + 2198,8691}{3} - 211,95 \end{aligned}$$

$$= 684,1668 \text{ kN/tiang}$$

Jadi, jumlah tiang bor yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} n &= P_v / Q_{ijin} \\ &= 38132,206 / 684,1668 \\ &= 55,7352 \approx 56 \text{ buah} \end{aligned}$$

4.6 Penurunan Yang Terjadi

Kondisi tanah dominasi oleh tanah pasir sehingga penurunan yang terjadi adalah penurunan segera (elastic).

Penurunan total pondasi dibawah beban vertikal Q_w :

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastic tiang

$S_{e(2)}$ = Penurunan pondasi oleh beban pada ujung tiang

$S_{e(3)}$ = Penurunan pondasi oleh beban sepanjang tiang

a. Penurunan Elastic Tiang

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \epsilon Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

$$S_{e(1)} = \frac{(13,39 + 0,5 \cdot 1120,4373)30}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 2,1 \cdot 10^8} = 0,2899 \text{ mm}$$

b. Penurunan Pondasi Oleh Beban Ujung Tiang

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_{e(2)} = \frac{47,38145 \cdot 0,6}{40000} (1 - 0,35^2) 0,85 = 5,3011 \text{ mm}$$

c. Penurunan Pondasi Oleh Beban Sepanjang Tiang

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{1120,4373}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 30} \right) \frac{0,6}{40000} (1 - 0,35^2) 4,47 = 1,1663 \text{ mm}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} S_e &= 0,2899 + 5,3011 + 1,1663 \\ &= 6,7573 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi penurunan kelompok tiang adalah:

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e$$

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{6000}{600}} \times 6,7573$$

$$= 21,3685 \text{ mm} < 40-65 \text{ mm (OK)}$$

4.7 Rencana Anggaran Biaya

Lingkup pekerjaan pemasangan tiang pancang (*driven pile*) dan bore pile jembatan didasarkan pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Pekerjaan Umum (Kementerian Pekerjaan Umum, 2012).

Berdasarkan perbandingan pada perhitungan harga satuan pekerjaan diperoleh biaya seluruh jenis pekerjaan pemasangan tiang pancang jembatan Labuhan, total anggaran biaya pekerjaan struktur bawah jembatan yang menggunakan tiang pancang adalah Rp 1.974.102.300,- sedangkan jika menggunakan bore pile sebesar Rp 9.460.902.248,-. Bisa disimpulkan bahwa biaya pekerjaan pondasi tiang pancang lebih murah daripada biaya pekerjaan pondasi bore pile dengan selisih harga Rp. 7.486.799.948,-.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Perencanaan pondasi tiang pancang menggunakan perhitungan kapasitas dukung ultimit cara statis. Yang mana cara ini dihitung dengan menggunakan teori-teori mekanika tanah. Dimana parameter-parameter tanah yang digunakan adalah : ϕ , c , c_d , dan γ pada kondisi tak terdrainase.
2. Perencanaan pondasi tiang bor pada daya dukung ujung menggunakan metode Poulos dan Davis (1980) dan daya dukung gesekan tiang menggunakan teori yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989).
3. Pada perencanaan pondasi tiang pancang didapatkan jumlah tiang yang digunakan adalah 70 buah tiang. Dimana susunan tiang untuk arah x adalah sebanyak 14 buah dengan jarak antar tiang adalah 1,5 m dan untuk arah y adalah sebanyak 5 buah dengan jarak antar tiang adalah 1,5 m. Dimana daya dukung batas dasar tiang adalah sebesar 65,5813 kN/tiang, dan daya dukung batas gesekan tiang adalah

1120,4373 kN/tiang. Kapasitas dukung ijin tiang terhadap daya desak adalah sebesar 556,6768 kN/tiang, kapasitas dukung ijin tiang terhadap gaya lateral adalah sebesar 11948,58 kN/tiang, dan kapasitas dukung ijin tiang terhadap gaya tarik adalah sebesar 415,01346 kN/tiang. Pada perencanaan pondasi tiang bor didapatkan jumlah tiang yang digunakan adalah 56 buah tiang. Dimana daya dukung batas dasar tiang adalah sebesar 65,5813 kN/tiang, dan daya dukung batas gesekan tiang adalah 2198,8691 kN/tiang. Untuk Q_{ijin} untuk pondasi tiang bor adalah sebesar 684,1668 kN/tiang.

4. Penurunan yang terjadi pada pondasi adalah penurunan segera (elastic) dimana penurunan yang terjadi adalah sebesar 21,3685 mm.
5. Berdasarkan perbandingan pada perhitungan harga satuan pekerjaan diperoleh biaya seluruh jenis pekerjaan pemasangan tiang pancang adalah sebesar Rp 1.974.102.300,- sedangkan jika menggunakan tiang bor diperoleh total biaya sebesar Rp 9.460.902.248,-. Dari hasil perbandingan biaya ini dapat dilihat bahwa penggunaan pondasi tiang pancang dapat menghemat biaya sebesar Rp 7.486.799.948,-

5.2 Saran

Untuk pekerjaan pondasi pada pekerjaan abutment Jembatan Labuhan Madura ini sebaiknya menggunakan pondasi tiang pancang. Walaupun dengan Q_{ijin} tiang pancang = 556,6786 kN/tiang dan jumlah tiang yang lebih banyak yaitu 70 buah tiang sedangkan Q_{ijin} tiang bor = 684,1668 kN/tiang dan jumlah tiang yang lebih sedikit yaitu 56 buah tiang namun pondasi tiang pancang memiliki estimasi biaya yang lebih murah dalam pelaksanaannya daripada pondasi tiang bor. Dengan penghematan biaya yang cukup besar yaitu Rp 7.486.799.948,- maka pondasi tiang pancang lebih memungkinkan untuk digunakan pada abutment Jembatan Labuhan Madura.

DAFTAR PUSTAKA

- Angi, Ronal. 2013. *Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dan Tiang Bor*. Diakses 20 Juni 2015. <https://www.scribd.com/doc/145633792/Perencanaan-Pondasi-Tiang-Pancang-Dan-Tiang-Bor>
- Braja M., Das. 2007. *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*. Stamford: Global Engineering.
- Braja M., Das. 1988. *Mekanika Tanah Jilid I*. Diterjemahkan oleh : Noor Endah Mochtar dkk Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*. Jakarta : PU.
- Hardiyatmo, H.C. 2011. *Analisa dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Herman. 2014. *Bahan Ajar: Mekanika Tanah II – Penurunan*. Diakses 4 Juni 2015. <http://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/BahanAjar/Herman/Penurunan.pdf>
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2012. *Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Pekerjaan Umum*. Jakarta: PU.
- Mulya, Ari. 2013. *Perhitungan Bore Pile*. Diakses 13 juni 2015. <https://www.scribd.com/doc/151226676/Perhitungan-Bore-Pile>
- Putro, G.A. 2011. “*Perencanaan Pondasi Tiang Bor Pada Proyek Gedung Menara Palma*”. Program Sarjana. Universitas Gunadarma. Depok
- Suroso dkk. 2007. *Buku Ajar Teknik Pondasi*. Malang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.