

## REDESAIN FONDASI *BOX CULVERT* MENGGUNAKAN CERUCUK BAMBU DITINJAU DARI KEKUATAN STRUKTURAL, BIAYA, DAN WAKTU (STUDI KASUS PROYEK PENINGKATAN JALAN EMPU NALA KOTA MOJOKERTO)

Novi Aullia Rahma Danti<sup>1\*</sup>, Alfia Magfirona<sup>2</sup>, Dharmawan Setyansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, <sup>3</sup>PT PP Presisi, Tbk  
Jln. Ahmad Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo, Prov. Jawa Tengah

\*Email: d100190268@student.ums.ac.id

### Abstrak

*Fondasi box culvert di Proyek Peningkatan Jalan Empu Nala awalnya didesain menggunakan fondasi mini pile, karena prinsip kekuatan strukturalnya menahan beban titik sehingga dapat menyebabkan struktur tidak stabil apabila salah satu tiang pancang mengalami perlemahan. Selain itu, fondasi ini terlalu menghabiskan banyak biaya serta waktu pengerjaan yang cukup lama. Oleh karenanya perlu dilakukan redesain fondasi box culvert. Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian ini sangat diperlukan untuk redesain fondasi box culvert menggunakan cerucuk bambu. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis kekuatan struktural cerucuk bambu terhadap stabilitas, penurunan, dan tegangan tanah, serta melakukan komparasi berdasarkan aspek biaya dan waktu antara fondasi mini pile dengan cerucuk bambu. Metode penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder dari PT PP Presisi, Tbk sebagai bahan dalam menghitung kekuatan struktural dan analisis komparasi. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa fondasi cerucuk bambu lebih efektif dan efisien digunakan karena kekuatan strukturalnya aman terhadap stabilitas, penurunan, dan tegangan tanah, serta komparasi baik dari aspek biaya lebih menghemat pengeluaran sebesar Rp184.703.946,61 maupun dari aspek waktu lebih cepat 1 bulan dari penggunaan fondasi mini pile. Dengan demikian, penggunaan cerucuk bambu sebagai fondasi box culvert sangat direkomendasikan untuk proyek konstruksi jalan dengan kondisi tanah lunak.*

**Kata kunci:** bambu, box, cerucuk, culvert, fondasi

### Abstract

*Box culvert foundation at the Empu Nala Road Improvement Project originally designed using a mini pile foundation because principle structural strength is withstand point loads so it can cause structure become unstable if one piles weakens. In addition, foundation is too costly and takes a long time to work on. Therefore it's necessary to redesign box culvert foundation. This regard, research is urgently needed redesign box culvert foundations using bamboo. Purpose this study was to analyze structural reinforcement of bamboo piles against stability, settlement, and soil stress, as well as to comparisons based on cost and time between mini pile foundations and bamboo piles. This research method carried out by collecting secondary data from PT PP Presisi, Tbk an ingredient in calculating structural strength and comparative analysis. Results this study show bamboo foundation is more effective and efficient to use because structural strength is safe against stability, settlement, and soil stress, and good comparison from cost saves expenses of IDR 184,703,946.61 and the time it's 1 month faster than use mini pile foundation. Thus, use bamboo culverts as box culvert foundations is highly recommended for road construction projects with soft soil conditions.*

**Keywords:** bamboo, box, culvert, foundation, piles

## 1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi darat yang terdiri dari segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang berada di atas permukaan tanah dan air, serta di bawah permukaan tanah dan air [UU RI No. 36, 2006]. Salah satu pembangunan jalan yang sedang dikerjakan adalah Proyek Peningkatan Jalan Empu Nala (PEN) di Kelurahan Balongsari, Kelurahan Gunung Gedangan, Kelurahan Kedundung, Kecamatan Magersari, Kota Mojokerto, Provinsi Jawa Timur.

Jalan Empu Nala merupakan akses jalan menuju tempat pelayanan publik di Mall Pelayanan Publik (MPP) Gajah Mada, menuju Kantor Pemerintahan Kota Mojokerto, menuju tempat destinasi wisata baru yaitu Kolam Pemandian Sekarsari, serta menuju pasar induk Kota Mojokerto yaitu Pasar Tanjung Anyar. Seiring berkembangnya Kota Mojokerto, beban kendaraan di Jalan Empu Nala mengalami peningkatan sehingga dimensi jalan eksisting sering tidak mampu menampung rata-rata lalu lintas harian. Sehingga upaya pemerintah dalam mengatasi hal tersebut yaitu dengan

meningkatkan kapasitas jalan untuk memperlebar dimensi jalan. Perencanaan peningkatan jalan dengan kondisi tanah sekitar merupakan tanah lunak ini pekerjaan utamanya adalah pengadaan dan pemasangan BCTB yang awalnya didesain dengan menggunakan fondasi tiang pancang *mini pile*. Jenis tiang pancang yang dipakai adalah tiang beton *precast prestress* dengan ukuran 20 x 20 (cm) dan panjang 4 meter. Mutu beton minimum yang dipakai adalah  $f_c' = 41,5$  Mpa atau K-500 yang harus sudah dicapai pada waktu pemancangan [Henri, 2018].

Namun, setelah dilakukan pengujian sondir pada 5 titik, ternyata pada 3 titik sondir diperoleh kedalaman tanah keras di bawah 4 meter, sedangkan pada 2 titik lainnya dengan kedalaman lebih dari 4 meter, yaitu 6,20 meter dan 7,80 meter [Hasil Uji Sondir PT PP Presisi, Tbk, 26 Maret 2022], sehingga apabila fondasi tetap menggunakan *mini pile* dimana prinsip tiang pancang ini adalah menahan beban titik dari beban-beban yang berada di atasnya, maka jika terjadi perlemahan (tertekuk) pada salah satu tiang pancang akan membuat konstruksi secara keseluruhan menjadi tidak stabil dan dapat membahayakan pengguna jalan. Sehubungan dengan hal tersebut, maka perlu dilakukan redesain terhadap fondasi *box culvert* pada proyek tersebut dengan menggunakan cerucuk bambu.

Fondasi dangkal dengan kondisi tanah sekitar merupakan tanah lunak, penggunaan fondasi dengan cerucuk bambu mampu meningkatkan daya dukung tanah dan mampu memperkecil penurunan tanah yang terjadi. Cerucuk bambu memiliki keunggulan seperti, ekonomis dari segi biaya, bahan yang mudah untuk didapatkan, dan pelaksanaannya yang sederhana [Iqbal dan Zaki, 2022]. Perkuatan struktural fondasi menggunakan cerucuk bambu terhadap tegangan tanah, penurunan tanah, dan stabilitas tanah tidak kalah kuatnya dengan menggunakan *mini pile* dibuktikan pada penelitian sebelumnya terkait perkuatan tanah pada tanah lunak dengan menggunakan bambu dan *mini pile*. Disimpulkan bahwa keduanya mampu meningkatkan stabilitas tanah dan aman sebagai fondasi struktur [Susila dan Agrensa, 2013].

Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis perkuatan struktural menggunakan cerucuk bambu sebagai redesain fondasi *box culvert* dari yang awalnya menggunakan fondasi *mini pile* dan melakukan komparasi baik dari aspek biaya

maupun waktu antara penggunaan fondasi *mini pile* dengan cerucuk bambu.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder. Data sekunder adalah data-data yang sudah diolah oleh kontraktor proyek dan digunakan peneliti sebagai bahan dalam menganalisis pada penelitian ini. Data-data yang digunakan, antara lain :

- Data hasil pengujian sondir [PT PP Presisi, Tbk, 26 Maret 2022].
- Data volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan fondasi *mini pile* serta cerucuk [PT PP Presisi, Tbk, 2022].

### 2.2. Metode Analisis

Penelitian dimulai setelah mengumpulkan data sekunder, kemudian dilanjutkan mendesain fondasi *box culvert* menggunakan cerucuk bambu dengan menghitung kekuatan struktural. Data yang digunakan untuk menentukan kapasitas daya dukung tanah didasarkan pada data hasil pengujian sondir dari PT PP Presisi, Tbk. Adapun jumlah titik sondir yang dilakukan di lapangan sebanyak 5 titik. Berikut hasil pengujian terlampir pada **Tabel 1** dan nilai harga conus ( $q_c$ ) yang terlampir pada **Tabel 2**. di bawah ini :

**Tabel 1**  
**Hasil Pengujian Sondir**

Titik Sondir	STA	Kedalaman (m)	Harga Conus ( $\text{kg/cm}^2$ )	Harga JHP ( $\text{kg/cm}$ )
S-1	0+050	-1,80	250	212
S-2	0+400	-3,40	250	222
S-3	1+200	-1,00	250	70
S-4	1+600	-6,20	250	332
S-5	2+000	-7,80	250	490

(Sumber : PT PP Presisi, Tbk, 26 Maret 2022)

**Tabel 2**  
**Nilai Harga Conus ( $q_c$ )**

Titik Sondir	STA	Kedalaman (m)	Harga Conus (kg/cm <sup>2</sup> )
S-1	0+050	-1,80	250
S-2	0+400	-3,40	250
S-3	1+200	-1,00	250
S-4	1+600	-4,00	20
S-5	2+000	-4,00	18

(Sumber : PT PP Presisi, Tbk, 26 Maret 2022)

Berdasarkan data di atas, dilakukan analisis perhitungan kapasitas daya dukung tanah dengan menghitung tegangan izin tanah baik dengan fondasi menerus maupun fondasi bujur sangkar. Fondasi dangkal dengan lebar fondasi lebih besar dari kedalamannya yaitu ( $B > H$ ) [Das, 1995], maka kapasitas daya dukung ultimit ( $q_u$ ) dapat diketahui dengan salah satu pendekatan empiris [Schmertmann, 1978] dalam [Hakam, 2008] pada **persamaan (1) dan (2)**. Setelah didapatkan nilai tegangan izin tanah yang terkecil, kemudian menghitung beban-beban yang diterima oleh tanah dasar yang ditinjau dari beban mati, beban kendaraan, dan tekanan gandar. Selanjutnya, dilakukan pengecekan terhadap stabilitas tanah dengan syarat jika ( $q_{izin\ tanah} > q_{total\ beban}$ ) maka struktur dapat dikatakan aman [AISC, 1989], kemudian melakukan perhitungan terhadap penurunan tanah [Bowles, 1992] pada **persamaan (3)**. Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung kapasitas daya dukung tiang cerucuk bambu apabila digunakan fondasi dalam, maka daya dukung ultimit ( $q_u$ ) dapat menggunakan pendekatan empiris [Mayerhoff, 1976] dalam [Hakam, 2008] pada **persamaan (4), (5), dan (6)**. Dilanjutkan menghitung tegangan izin tanah dan kapasitas daya dukung dengan perkuatan cerucuk bambu. Lalu, melakukan pengecekan keamanan terhadap tegangan tanah pada rencana pemasangan fondasi dengan cerucuk bambu dalam 1 segmen *box culvert*. Berikut persamaan-persamaannya terlampir di bawah ini :

$$\text{Untuk fondasi menerus,} \\ q_u = 28 - 0,0052 \times (300 - q_c)^{1,5} \quad (1)$$

$$\text{Untuk fondasi bujursangkar,} \\ q_u = 48 - 0,009 \times (300 - q_c)^{1,5} \quad (2)$$

dengan :

$q_u$  = kapasitas dukung ultimit (kg/cm<sup>2</sup>)

$q_c$  = harga conus (kg/cm<sup>2</sup>)

$$S_e = (B \times q_0 / E_s) \times (1 - \mu_s^2) \times a_{av} \quad (3)$$

dengan :

$S_e$  = penurunan elastis (m)

$B$  = panjang (m)

$q_0$  = tegangan kontak (kN/m<sup>2</sup>)

$E_s$  = modulus elastisitas tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\mu_s$  = *poisson's ratio*

$a_{av}$  = faktor fondasi

$$q_u = q_p + q_s = (q_c \times A_p) / SF + (JHL \times K_a) / 5 \quad (4)$$

Dengan mengabaikan tahanan friksinya sebagai berikut :

$$q_u = q_p = (q_c \times A_p) \quad (5)$$

$$q_{izin} = q_u / SF \quad (6)$$

dengan :

$q_u$  = daya dukung tiang (ton)

$q_c$  = nilai conus (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_p$  = luas penampang ujung tiang (cm<sup>2</sup>)

$K_a$  = keliling tiang (cm)

$JHL$  = jumlah hambatan lekat (kg/cm)

$SF$  = *Safety Factor*

$q_{izin}$  = daya dukung tiang izin (ton)

Penelitian kali ini selain menganalisis perkuatan struktural, juga melakukan komparasi yang ditinjau dari aspek biaya dan waktu antara desain fondasi cerucuk bambu dengan *mini pile*. Berikut gambaran desain fondasi *mini pile* maupun cerucuk bambu terlampir pada **Gambar 1**. dan **Gambar 2**. di bawah ini :



**Gambar 1. Rencana Awal Fondasi Mini Pile**  
(Sumber : PT PP Presisi, Tbk, 2022)



**Gambar 2. Redesain Fondasi Cerucuk Bambu**  
(Sumber : PT PP Presisi, Tbk, 2022)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung

##### 3.1.1 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Izin Fondasi

Rekapitulasi perhitungan kapasitas daya dukung izin fondasi dangkal disesuaikan dengan menggunakan rumus pada **persamaan (1) dan persamaan (2)** terlampir pada **Tabel 3.** berikut ini :

**Tabel 4**  
**Rekapitulasi Perhitungan terhadap Beban Mati**

No.	Beban Mati	Rumus Perhitungan	Hasil	Satuan
1.	<i>Box culvert</i> sendiri, dimensi 6,9 x 1,2 (m) tebal 45 cm :			
	a. Bagian atas dan bawah <i>box</i>	$p \times l \times t \times 2$ (atas dan bawah)	7,452	m <sup>3</sup>
	b. Bagian samping <i>box</i>	$p \times l \times t \times 2$ (kanan dan kiri)	2,160	m <sup>3</sup>
	c. Luasan segitiga pada <i>box</i>	$1/2 \times a \times t \times 4$ sisi	0,096	m <sup>3</sup>
	Total beban <i>Box Culvert Top and Bottom</i> (BCTB) sendiri :		23,299	ton
2.	<i>Overtopping</i> beton, tebal rata-rata 12 cm	$p \times l \times t \times \square_{\text{beton}}$	2,385	ton
3.	Aspal AC-WC, tebal 4 cm	$p \times l \times t \times \square_{\text{aspal}}$	0,762	ton
4.	Air hujan, tebal 5 cm	$p \times l \times t \times \square_{\text{air}}$	0,414	ton
5.	Air banjir dalam <i>box</i> , tinggi air 1,7 m	$p \times l \times t_{\text{air}} \times \square_{\text{air}}$	12,240	ton
6.	Urugan <i>split</i> , tebal 20 cm	$p \times l \times t \times \square_{\text{split}}$	2,650	ton

Total beban mati ( $q_1$ ) sebagai berikut :

$$q_1 = \text{total beban} / \text{luasan BCTB}$$

$$= (23,299 + 2,385 + 0,762 + 0,414 + 12,240 + 2,650) / (6,9 \times 1,2)$$

$$= 5,042 \text{ ton/m}^2$$

##### 3.1.2.2. Perhitungan terhadap Beban Kendaraan dan Tekanan Gandar

Menghitung beban kendaraan berdasarkan beban lalu lintas sesuai dengan pengelompokan kelas jalan. Pada proyek ini, termasuk pada kelas jalan I yaitu jalan arteri dan kolektor yang dapat dilewati kendaraan bermotor

**Tabel 3.**  
**Rekapitulasi Kapasitas Daya Dukung Izin Fondasi Dangkal**

Titik Sondir	$q_c$ (ton/m <sup>2</sup> )	Kapasitas Daya Dukung Izin Fondasi	
		Menerus (ton/m <sup>2</sup> )	Bujursangkar (ton/m <sup>2</sup> )
S-1	2500	508.584	880.702
S-2	2500	508.584	880.702
S-3	2500	508.584	880.702
S-4	200	22.800	39.000
S-5	180	<b>21.164</b>	36.169

Diambil kapasitas daya dukung izin fondasi yang terkecil,  $q_{\text{izin tanah}} = 21,164 \text{ ton/m}^2$ .

##### 3.1.2 Perhitungan Beban yang Diterima Tanah Dasar

###### 3.1.2.1. Perhitungan terhadap Beban Mati

Rekapitulasi perhitungan terhadap beban mati dapat dilihat pada **Tabel 4.** di bawah ini :

dengan lebar < 2500 mm, panjang < 18000 mm, dan ukuran paling tinggi 4200 mm, dengan muatan sumbu terberat 10 ton [UU RI No. 22, 2009]. Berikut disajikan beban lalu lintas dalam **Tabel 5.** di bawah ini :

**Tabel 5**  
**Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas**

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12

(Sumber : SNI 8460:2017)

berdasarkan **Tabel 5.** di atas, maka dipakai beban kendaraan Kelas I ( $q_2$ ) sebagai berikut :

$$q_2 = 15 \text{ kPa} = 15 \text{ kN/m}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

Menghitung beban tekanan gandar ( $q_3$ ) sebesar 20 ton disesuaikan dengan [Dokumen DED PT PP Presisi, Tbk, 2022], maka perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_3 &= \text{beban tekan gandar} / \text{luasan dalam BCTB} \\ &= 20 / (6 \times 1,2) \\ &= 2,778 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

### 3.1.2.3. Total Beban yang Diterima oleh Tanah Dasar

Menjumlahkan seluruh beban yang sudah dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_{\text{total}} &= q_1 + q_2 + q_3 \\ &= 5,042 + 1,5 + 2,778 \\ &= 9,320 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

### 3.1.3 Pengecekan terhadap Stabilitas Tanah

Dilakukan pengecekan terhadap stabilitas berdasarkan metode tegangan izin atau *Allowable Stress Design* (ASD) agar struktur aman maka tegangan yang terjadi akibat beban yang diterima harus lebih kecil dari tegangan yang diizinkan. Berdasarkan hasil dari perhitungan di atas sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_{\text{izin tanah}} &> q_{\text{total beban yang diterima}} \\ 21,164 \text{ ton/m}^2 &> 9,320 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

dikarenakan  $q_{\text{izin tanah}}$  lebih besar dari  $q_{\text{total beban}}$  yang diterima, maka dapat dinyatakan bahwa **stabilitas aman.**

### 3.1.4 Perhitungan Penurunan Tanah

Percobaan yang dilakukan pada sampel satu segmen *box culvert* dengan bidang kotak berukuran  $B \times L = 1,2 \times 6,9$  (m).

$D_f = 4$  m (terutama kedalaman untuk hasil sondir titik S-5)

$$q_0 = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\square_s = 0,3$$

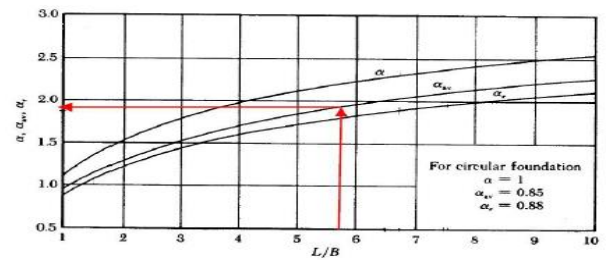
$$E_s = 30 \times q_c$$

$$= 30 \times 18 \text{ (harga conus S-5)}$$

$$= 540 \text{ kg/cm}^2 = 54000 \text{ kN/m}^2$$

Maka, untuk menentukan nilai  $a_{av}$  :

$$L / B = 6,9 / 1,2 = 5,75$$



**Gambar 3. Penentuan Nilai  $a_{av}$**   
(Sumber : PT PP Presisi, Tbk, 2022)

Berdasarkan **Gambar 3.** didapatkan nilai  $a_{av}$  sebesar 1,9. Dengan menggunakan **persamaan (3)**, maka hasil perhitungan penurunan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_e &= ((1,2 \times 50) / 54000) \times ((1 - 0,3^2) \times 1,9) \\ &= 0,00320 \text{ m} \\ &= 3,202 \text{ mm} \end{aligned}$$

[Mayerhoff, 1956] menyatakan bahwa penurunan yang diizinkan terjadi pada lapisan tanah dasar akibat beban yang berada di atasnya adalah sebesar 1 inchi ( 25,4 mm). Dikarenakan  $S_e = 3,202 \text{ mm} < 1 \text{ inchi (25,4 mm)}$  maka dapat dinyatakan **penurunan tanah aman.**

## 3.2. Perhitungan dengan Perkuatan Tiang Cerucuk Bambu

### 3.2.1. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Izin dengan Tiang Cerucuk Bambu

Perhitungan kapasitas dukung satu tiang bambu menggunakan bambu dengan diameter 8 cm dan panjang bambu diambil dari bambu yang mampu mencapai elevasi terdalam yaitu pada titik sondir ke-5 dengan panjang bambu 4 m. [Purnama dkk., 2022] pada penelitiannya menyatakan bahwa dengan adanya penambahan panjang cerucuk bambu maka akan meningkatkan besarnya daya dukung batas cerucuk bambu tersebut.

Berkaitan dengan hal tersebut didukung pula penelitian yang dilakukan oleh [Shandy, 2019] yang menyatakan bahwa peningkatan daya dukung dan penurunan tanah dipengaruhi dengan seiring bertambah panjangnya tiang cerucuk bambu. Berikut rekapitulasi kapasitas daya dukung izin dengan menggunakan fondasi cerucuk bambu terlampir pada **Tabel 6.** di bawah ini :

**Tabel 6**  
**Rekapitulasi Kapasitas Daya Dukung Izin dengan Cerucuk Bambu**

Hasil Sondir (dalam grafik)	$A_p = \frac{1}{4} \cdot \square \cdot D^2$	$q_u = q_c \cdot A_p$	$q_{izin} = \frac{q_u}{SF}$
$q_{c \text{ min}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg)
166.67	50.265	8377.748	2792.583
166.67	50.265	8377.748	2792.583
150.00	50.265	7539.822	2513.274
20.00	50.265	1005.310	335.103
18.00	50.265	904.779	<b>301.593</b>

berdasarkan perhitungan di atas, maka diambil  $q_{izin}$  yang terkecil yaitu 301,593 kg = 0,302 ton.

### 3.2.2. Pengecekan Kekuatan Material 5

**Tabel 7. Kuat Batas & Tegangan Izin**

Jenis Tegangan	Kuat Batas (kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Izin (kg/cm <sup>2</sup> )
Tarik	981-3920	284,20
Lentur	686-2940	98,07
Tekan	245-921	<b>78,45</b>
E Tarik	98070-294200	196,10x10 <sup>3</sup>

(Sumber : Morisco, 1999)

Berdasarkan Tabel 7. di atas, maka tegangan yang dipakai merupakan tegangan tekan izin,  $\square_{tkizin} = 78,45 \text{ kg/cm}^2 = 7693,32 \text{ kN/m}^2$  dengan berat jenis bambu adalah 400 kg/m<sup>3</sup>, perhitungan daya dukung izin material :

$$\begin{aligned} q_{izin \text{ material}} &= 0,8 \times \square_{tkizin} \times A \\ &= 0,8 \times 7693,32 \times \frac{1}{4} \times \square \times 8^2 \\ &= 30,937 \text{ kN} \\ &= 3,094 \text{ ton} \end{aligned}$$

sehingga diambil daya dukung terkecil,  $q_{izin} = 0,302 \text{ ton}$ . Apabila dalam satu segmen *box culvert* terdapat 12 tiang cerucuk bambu maka kebutuhan cerucuk sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &= \text{luas} \text{ box} / \text{total tiang cerucuk bambu} \\ &= 6,9 \times 1,2 / 12 \\ &= 0,69 \text{ bh/m}^2 \end{aligned}$$

maka kapasitas daya dukung cerucuk bambu menjadi :

$$\begin{aligned} &= 0,69 \times 0,302 \\ &= 0,208 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

sehingga total kapasitas dukung ( $q_{izin \text{ total}}$ ) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_{izin \text{ total}} &= \text{tegangan izin tanah} + \text{kapasitas daya} \\ &\quad \text{dukung cerucuk bambu} \\ &= 21,164 + 0,208 \\ &= 21,372 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

### 3.2.3. Pengecekan terhadap Tegangan pada Rencana Pemasangan Fondasi Cerucuk Bambu

Satu segmen *box culvert* terdapat sebanyak 12 tiang cerucuk bambu, maka tegangan yang terjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{izin} &= q_{izin \text{ total}} \times \text{luas} \text{ box culvert} \\ &= 21,372 \times 6,9 \times 1,2 \\ &= 176,961 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= q_{\text{total beban}} \times \text{luas} \text{ box culvert} \\ &= 9,320 \times 6,9 \times 1,2 \\ &= 77,169 \text{ ton} \end{aligned}$$

Syarat :  $P_{izin} > P$

$$176,961 \text{ ton} > 77,169 \text{ ton}$$

Maka dapat dinyatakan bahwa **tegangan aman**.

### 3.3. Komparasi dari Aspek Biaya antara Penggunaan Fondasi Mini Pile dengan Cerucuk Bambu

Komparasi berdasarkan aspek biaya diperoleh dengan melakukan perhitungan jumlah harga yang didapatkan dari perkalian antara volume pekerjaan fondasi dengan harga satuan pekerjaan fondasi [Dokumen AHS PT PP Presisi, Tbk, 2022]. Berikut ini perbandingan dari aspek biaya antara penggunaan fondasi *mini pile* dan cerucuk bambu sebagai redesain fondasi *box culvert* yang disajikan pada Tabel 8. dan Tabel 9. di bawah ini :

**Tabel 8**  
**BOQ Pekerjaan Fondasi *Mini Pile***

Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pemancangan Tiang Pancang Beton Bertulang Pracetak Ukuran 200 x 200 mm	m'	19.088,00	31.113,10	593.886.900,52
Pemasangan <i>Mini pile</i> 200 x 200 L 4 m	bh	4.772,00	309.082,40	1.474.941.212,80
Timbunan Pasir Urug (untuk <i>Pile Cap</i> )	m <sup>3</sup>	78,16	166.582,24	13.020.401,04
Beton struktur memadat sendiri, $f_c$ '22,5 Mpa (untuk <i>Pile Cap</i> )	m <sup>3</sup>	625,30	789.993,23	493.979.606,75
Pek. Lantai Kerja $t= 5$ cm	m <sup>3</sup>	78,16	586.711,81	45.858.568,34
Pemasangan Baja Tulangan Sirip BjTS 280	kg	40.413,47	13.486,44	545.033.844,57
<b>Jumlah Seluruh Harga</b>				<b>3.166.720.534,01</b>

(Sumber : PT PP Presisi, Tbk, 2022)

**Tabel 9**  
**BOQ Pekerjaan Fondasi Tiang Cerucuk Bambu**

Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pemancangan Cerucuk Bambu L 4 m	m'	89.184,00	9.115,00	812.912.160,00
Pengadaan Cerucuk Bambu L 4m	bh	21.600,00	28.875,00	623.700.000,00
<i>Geotextile Non Woven</i>	m <sup>2</sup>	16.071,00	21.500,00	345.526.500,00
Urugan <i>Split</i> tebal 20 cm	m <sup>3</sup>	3.214,20	373.305,31	1.199.877.927,40
<b>Jumlah Seluruh Harga</b>				<b>2.982.016.587,40</b>

(Sumber : PT PP Presisi, Tbk, 2022)

Berdasarkan **Tabel 8.** dan **Tabel 9.** perbandingan di atas, penggunaan cerucuk bambu sebagai redesain fondasi *box culvert* memberikan efisiensi Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp 184.703.946,61 dibandingkan dengan desain fondasi yang awalnya menggunakan *mini pile*.

### 3.4. Komparasi dari Aspek Waktu antara Penggunaan Fondasi Mini Pile dengan Cerucuk Bambu

Komparasi dari aspek waktu dimana dalam pelaksanaannya penggunaan *mini pile* akan memakan waktu lebih lama dibandingkan pengerjaan fondasi tiang cerucuk bambu yaitu selama 3 bulan dengan jumlah 3.710 buah dengan ukuran 60 x 70 x 40 (cm). Sedangkan apabila menggunakan cerucuk bambu hanya akan menghabiskan waktu sekitar kurang lebih 2 bulan pengerjaan dengan kebutuhan cerucuk bambu 30.896 buah dan panjang tiang bambu yang digunakan adalah 4 m disetiap segmennya [Dokumen Justek PT PP Presisi, Tbk, 2022]. Sehingga dari segi waktu pengerjaannya akan lebih efektif dan efisien apabila menggunakan fondasi *box culvert* tiang cerucuk bambu.

## 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

- Berdasarkan perhitungan kekuatan struktur penggunaan cerucuk bambu sebagai redesain fondasi *box culvert* aman terhadap stabilitas tanah, penurunan tanah, dan tegangan tanah sehingga pembebanan akan diteruskan secara merata ke fondasi cerucuk bambu bukan sebagai beban titik, dengan demikian konstruksi secara keseluruhan akan lebih stabil.
- Berdasarkan dari aspek biaya pengerjaan akan lebih hemat dengan menggunakan fondasi cerucuk bambu dibandingkan *mini pile*, yaitu dengan selisih biaya pengeluaran sebesar Rp184.703.946,61.
- Berdasarkan dari aspek waktu (durasi pekerjaan) dalam hal persiapan atau fabrikasi, fondasi cerucuk lebih cepat 1 bulan daripada *mini pile*. juga dalam hal pelaksanaan cangannya, sehingga akan mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan fondasi.

## DAFTAR PUSTAKA

AISC, 1989, 'Frames and Other Structures', *Specification for structural steel buildings(Allowable Stress Design and Plastic*

*Design)*, hh. 136–138.

Bowles, J.E., 1992, *Foundation Analysis and Design*, Ed. 4, Cet. Edited by F. P., Jakarta : Erlangga, 1992.

Das, Braja, M., 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1, Edited by Noor Endah dan Indrasurya B M., Erlangga. Jakarta.

Hakam, Abdul, M., 2008, *Rekayasa Pondasi untuk Mahasiswa dan Praktisi*, April 2008, h. 240.

Henri, 2018, *Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) Proyek Peningkatan Jalan Empu Nala*, Angewandte Chemie International, Edition 6(11), 951–952, hh. 1–41.

Indonesia, Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2006 tentang Jalan, Lembaran Negara RI tahun 2006 Nomor 1, Tambahan Lembaran RI Nomor 43, Sekretariat Negara, Jakarta.

Indonesia, Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Lembaran Negara RI tahun 2009 Nomor 16, Tambahan Lembaran RI Nomor 203, Sekretariat Negara, Jakarta.

Iqbal, M. dan Zaki, M., 2022, 'Analisis Pengaruh Perkuatan Cerucuk Bambu Terhadap Daya Dukung Fondasi Dangkal pada Tanah Lunak', *in Prosiding Seminar Intelektual Muda*, hh. 344–350.

PT PP Presisi, Tbk., 2022, Dokumen Hasil Pengujian Sondir, (Tidak Dipublikasikan).

PT PP Presisi, Tbk., 2022, Dokumen Detail Engineering Design (DED), (Tidak Dipublikasikan).

PT PP Presisi, Tbk., 2022, Dokumen Analisis Harga Satuan (AHS), (Tidak Dipublikasikan).

PT PP Presisi, Tbk., 2022, Dokumen Justifikasi Teknis Review Desain Fondasi, (Tidak Dipublikasikan).

Purnama, D.A.D., Salim, N. dan Alihudin, A., 2022, 'Pengkajian Penggunaan Cerucuk Bambu untuk Stabilitas Tanah Lempung Lunak pada Bangunan Embung Serbaguna', *Jurnal Smart Teknologi*, 3(3), pp. 286–300.

Shandy, R., 2019, 'Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan Cerucuk Bambu', *Universitas Andalas*.

SNI 8460 : 2017, Persyaratan Perancangan Geoteknik, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Susila, E. dan Agrensa, F., 2013, 'Gridded Matrass and Mini- Piles vs Tightened Matrass and Mini- Piles vs Top Connected Mini-Piles–Simple and



Cheap But Powerful Methods For Soft Soil Reinforcement', *Proceeding of SIBE 2013*, Bandung Institute Of Technology, Bandung, Indonesia.