

## Perancangan Perkuatan Fondasi Tiang Pasca Pelaksanaan Jembatan Kalanggeta, Kabupaten Serang, Provinsi Banten

Muhammad Shouman<sup>1</sup>, Hendry<sup>2</sup>, Mulyadi Yuswandono<sup>3</sup>, A. Febriansya<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail: sho\_lab0@yahoo.co.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail: hendrytkd3@yahoo.com

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail: yuswandono@gmail.com

<sup>4</sup>Mahasiswa Program Studi Rekayasa Infrastruktur, Program Magister Terapan, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail: aditiaf8@gmail.com

### ABSTRAK

Permasalahan terjadi ketika pekerjaan pemancangan fondasi tiang Jembatan Kalanggeta, yaitu kedalaman tiang-tiang yang tidak sesuai dengan kedalaman yang direncanakan. Permasalahan ini disebabkan oleh kapasitas penekanan alat pancang HSPD yang lebih rendah daripada beban izin rencana fondasi, mengakibatkan fondasi tiang tidak dapat menahan beban yang bekerja. Suatu perkuatan direncanakan untuk meningkatkan beban izin fondasi tiang agar dapat menahan beban yang bekerja, yaitu dengan penambahan 4 titik tiang pada masing-masing abutment. Dengan menambah sebanyak 4 titik, fondasi dapat menahan beban yang bekerja, serta beban tambahan yang diakibatkan oleh pelebaran *pile cap*. Selain itu, perkuatan dikontrol pula terhadap distribusi beban di kepala tiang dan penurunan kelompok tiang. Sambungan antara struktur beton *pile cap* eksisting dan struktur beton *pile cap* baru menggunakan metode *post-installed rebar connection*, yaitu metode penyambungan menggunakan *chemical anchor*. Panjang penyaluran pada beton eksisting yang dibutuhkan agar struktur *monolith* dan dapat menahan gaya dalam yang bekerja adalah 830 mm.

### Kata kunci

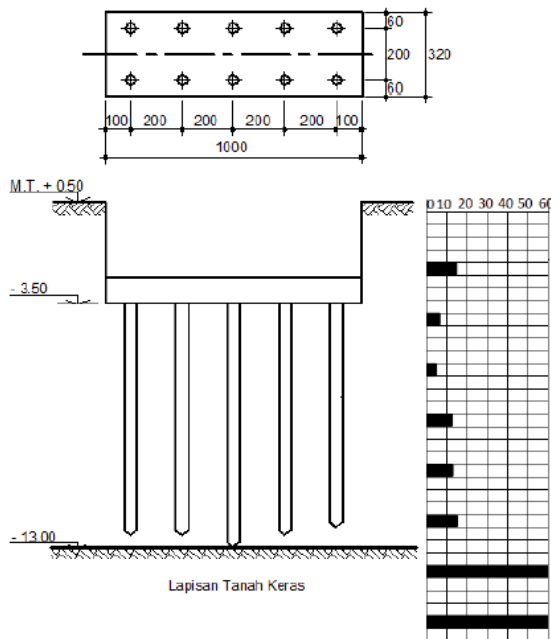
Jembatan, Rehabilitasi, Retrofit, Tiang Pancang, Post-Installed Rebar Connection

### 1. PENDAHULUAN

Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional, Kementerian PUPR melaksanakan program preservasi dan peningkatan kapasitas jalan nasional untuk mempertahankan kapasitas dan tingkat layan Ruas Jalan Nasional 03 (Cilegon – Anyer), paket penggantian Jembatan Kalanggeta merupakan subkomponen dari program tersebut<sup>[2][3]</sup>. Jembatan Kalanggeta merupakan jembatan beton dengan panjang bentang 22,6 meter dan lebar 9 meter. Jembatan Kalanggeta menggunakan fondasi dalam jenis tiang pancang diameter 50 cm sebanyak 10 titik pada masing-masing abutment. Pelaksanaan pemancangan dilakukan menggunakan *hydraulic static pile driver* (HSPD) dengan kapasitas penekanan hingga 2400 kN<sup>[3]</sup>. Pemilihan alat pancang didasarkan karena disekitar jembatan terdapat pipa-pipa bertekanan tinggi.

diakibatkan kapasitas penekanan alat pancang yang digunakan (HSPD 2400 kN) lebih rendah daripada beban izin rencana fondasi tiang, sehingga tiang tidak mencapai kedalaman yang direncanakan sementara alat pancang sudah terangkat<sup>[2][3]</sup>. Oleh karena itu, besarnya beban izin fondasi tiang pada masing-masing abutment perlu dihitung kembali untuk mengetahui daya dukung aktual fondasi tiang dan merancang perkuatan untuk fondasi tiang agar dapat menahan beban yang bekerja.

Terdapat suatu permasalahan ketika fondasi tiang dipancang, yaitu kedalaman tiang lebih rendah daripada kedalaman yang telah direncanakan, seperti terlihat pada **Gambar 1**. Permasalahan tersebut



Gambar 1. Ilustrasi permasalahan fondasi tiang Jembatan Kalanggeta<sup>[3]</sup>

## 2. STUDI PUSTAKA

### 2.1 Pembebanan

Besarnya beban yang bekerja digunakan sebagai input untuk perhitungan kebutuhan penambahan tiang sebagai perkuatan fondasi. Beban-beban yang bekerja dihitung berdasarkan SNI 1725:2016<sup>[7]</sup> tentang Pembebanan untuk Jembatan dan SNI 2833:2008<sup>[8]</sup> tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Adapun beban-beban yang dihitung dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Beban-beban yang bekerja<sup>[7]</sup>

Beban Mati	Beban Hidup	Beban Lingkungan
<ul style="list-style-type: none"> <li>Berat sendiri</li> <li>Beban mati tambahan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beban lalu lintas</li> <li>Beban pedestrian</li> <li>Gaya rem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beban angin</li> <li>Tekanan tanah</li> <li>Beban gempa</li> </ul>

### 2.2 Daya Dukung Fondasi

Daya dukung fondasi tiang tunggal ditentukan berdasarkan besarnya tekanan yang diberikan alat pancang pada saat pemancangan, besarnya tekanan tersebut dibaca pada manometer *hydraulic oil pressure* pada HSPD. dikalikan dengan luas penampang silinder hidrolis<sup>[3]</sup>, seperti pada **Persamaan 1**. Pelaksanaan pemancangan Jembatan Kalanggeta menggunakan dua mekanisme pemancangan yang dimiliki HSPD, yaitu *main piling system* dan *side piling mechanism*. *Main piling system* menggunakan dua buah silinder utama

Ø200 mm, dan dua buah silinder asisten Ø220 mm, sedangkan *side piling mechanism* hanya menggunakan dua buah silinder utama Ø250 mm<sup>[3]</sup>, seperti terlihat pada **Gambar 2**. Besarnya beban izin fondasi tiang tunggal ditentukan dengan membagi daya dukung fondasi dengan faktor keamanan, sesuai **Persamaan 2**.



(a) Main Piling System (b) Side Piling Mechanism

Gambar 2. Mekanisme pemancangan HSPD<sup>[3]</sup>

$$Q_{sp} = P \times (A_{main} + A_{assist}) \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

- $Q_{sp}$  = Daya dukung fondasi tunggal (Ton)
- $P$  = Hydraulic pressure (MPa)
- $A_{main}$  = Luas penampang silinder utama (mm<sup>2</sup>)
- $A_{assist}$  = Luas penampang silinder asisten (mm<sup>2</sup>)

$$Q_a = \frac{Q_{sp}}{FK} \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

- $Q_a$  = Beban izin fondasi tunggal (Ton)
- $FK$  = Faktor keamanan = 3<sup>[4]</sup>

Besarnya beban izin kelompok tiang dan efisiensi kelompok tiang (Converse-Labbre)<sup>[1]</sup> masing-masing dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**, sebagai berikut:

$$Q_{pg} = Q_a \times J \times e_g \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

- $Q_{pg}$  = Beban izin kelompok tiang (Ton)
- $J$  = Jumlah tiang pada satu kelompok
- $e_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$$e_g = 1 - \arctg \frac{D}{s} \times \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \dots \dots \dots (4)$$

dimana:

- D = Diameter tiang (m)
- s = Jarak antar tiang (m)
- m = Jumlah baris kelompok tiang
- n = Jumlah kolom kelompok tiang

### 2.3 Distribusi Pembebanan

Distribusi pembebanan pada kepala tiang dapat dihitung menggunakan **Persamaan 5**<sup>[4]</sup>, sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{J} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \dots\dots\dots (5)$$

dimana:

- Q = Beban terdistribusi (Ton)
- V = Beban vertikal yang bekerja (Ton)
- M<sub>x</sub> = Momen yang bekerja arah sumbu x (Ton.m)
- M<sub>y</sub> = Momen yang bekerja arah sumbu y (Ton.m)
- x = Koordinat tiang pada sumbu x (m)
- y = Koordinat tiang pada sumbu y (m)

### 2.4 Penurunan (Settlement)

Fondasi tiang Jembatan Kalanggeta berada pada lapisan tanah pasir, sehingga penurunan yang terjadi hanya penurunan segera saja (S<sub>tot</sub> = S<sub>i</sub>). Besarnya penurunan fondasi tiang tunggal yang terjadi dapat dihitung menggunakan metode Vesic, 1970<sup>[6]</sup> pada **Persamaan 6**.

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

- S = Penurunan total di kepala tiang (inchi)
- D = Diameter tiang (inchi)
- Q = Beban yang bekerja (pon)
- A<sub>p</sub> = Luas penampang tiang (inchi<sup>2</sup>)
- L = Panjang tiang (inchi)
- E<sub>p</sub> = Modulus elastisitas tiang (pon/inchi<sup>2</sup>)

Sementara, penurunan kelompok tiang dapat dihitung menggunakan metode Vesic, 1977<sup>[6]</sup> pada **Persamaan 7**. Besarnya penurunan kelompok tiang tidak diizinkan melebihi besarnya penurunan izin, yaitu 25,4 mm<sup>[1]</sup>.

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

- S<sub>g</sub> = Penurunan kelompok tiang (inchi)
- B<sub>g</sub> = Lebar kelompok tiang/ pile cap (inchi)

### 2.5 Post-Installed Rebar Connection

Post-installed rebar connection merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk menyambung beton eksisting dengan beton baru yang akan dicor dengan menggunakan sistem angkur, dengan

keyakinan dan fleksibilitas yang sangat tinggi<sup>[5][11]</sup>. Lubang dibor dengan kedalaman tertentu, setelahnya adhesif disuntikkan ke dalam lubang tersebut, lalu tulangan beton baru dimasukkan dan harus *spliced* dengan tulangan eksisting<sup>[9][10]</sup>, seperti terlihat pada **Gambar 3**. Proses penyuntikkan adhesif harus dilakukan secara hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam lubang penyaluran. Dengan desain dan pemasangan yang benar, struktur dapat diasumsikan *monolith* (sama kuat dengan tulangan eksisting), bahkan lebih kuat dari tulangan yang terpasang saat pengecoran<sup>[5][9][11]</sup>. Panjang penyaluran dihitung menggunakan **Persamaan 8**, lalu hasilnya dikontrol terhadap panjang penyaluran minimum dan maksimum sesuai spesifikasi adhesif yang digunakan dengan **Persamaan 9**<sup>[5]</sup>. Sambungan perkuatan dirancang sesuai dengan prinsip-prinsip desain beton bertulang<sup>[5]</sup>.



Gambar 3. Metode penyaluran dengan *post-installed rebar connection*<sup>[3]</sup>

$$f_{bd, seismic} \times \pi \times D_s \times l_{inst} = A_s \times f_y$$

$$l_{inst} = \frac{A_s \times f_y}{f_{bd, seismic} \times \pi \times D_s} \dots\dots\dots (8)$$

$$l_{min} \leq l_{inst} \leq l_{max} \dots\dots\dots (9)$$

dimana:

- f<sub>bd, seismic</sub> = Bond strength kondisi gempa (MPa)
- D<sub>s</sub> = Diameter tulangan (mm)
- A<sub>s</sub> = Luas tulangan (mm<sup>2</sup>)
- f<sub>y</sub> = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)
- l<sub>inst</sub> = Panjang penyaluran yang dibutuhkan (mm)
- l<sub>min</sub> = Panjang penyaluran minimal (mm)
- l<sub>max</sub> = Panjang penyaluran maksimal (mm)

Selanjutnya, panjang penyaluran dikontrol terhadap gaya dalam yang bekerja pada elemen struktur yang

akan disambung dengan menggunakan **Persamaan 10**<sup>[1]</sup>.

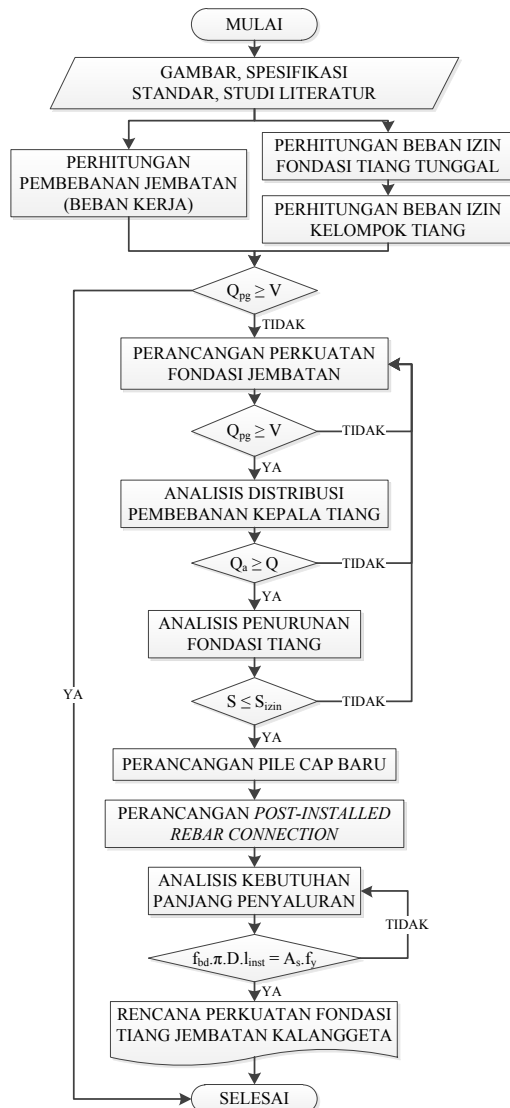
$$T_S = \frac{M_u}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} \dots \dots \dots (10)$$

dimana:

- T<sub>S</sub> = Gaya tarik baja tulangan (N)
- M<sub>u</sub> = Momen ultimit (N.mm)
- d = Tinggi efektif *pile cap* (mm)
- a = Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

### 3. METODOLOGI

Metodologi evaluasi dan perancangna perkuatan fondasi tiang Jembatan Kalanggeta dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Metodologi perancangan perkuatan fondasi tiang Jembatan Kalanggeta

### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembebanan

Berdasarkan hasil perhitungan kombinasi pembebanan pada kondisi layan, sesuai dengan standar yang digunakan, didapatkan gaya-gaya yang bekerja pada dasar masing-masing abutment jembatan, seperti terlihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Beban kerja pada abutment jembatan<sup>[3]</sup>

Abutment A1			Abutment A2		
Gaya	Besar	Satuan	Gaya	Besar	Satuan
V	572,555	Ton	V	572,555	Ton
H <sub>x</sub>	99,362	Ton	H <sub>x</sub>	99,362	Ton
H <sub>y</sub>	5,212	Ton	H <sub>y</sub>	0	Ton
M <sub>x</sub>	59,961	Ton.m	M <sub>x</sub>	59,961	Ton.m
M <sub>y</sub>	189,341	Ton.m	M <sub>y</sub>	0	Ton.m

#### 4.2 Evaluasi Daya Dukung Aktual

##### 4.2.1 Daya Dukung Fondasi Tunggal

Daya dukung dan beban izin fondasi tiang tunggal dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** untuk seluruh tiang pada kedua abutment jembatan. Hasil perhitungan daya dukung (Q<sub>sp</sub>) dan beban izin tiang tunggal (Q<sub>a</sub>) untuk abutment 1 dan abutment 2 dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Beban izin fondasi abutment 1<sup>[3]</sup>

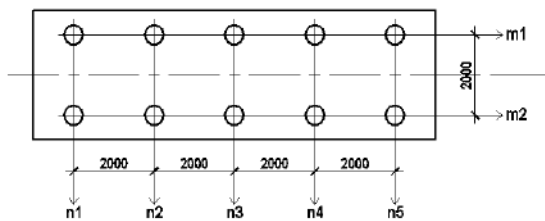
No	P (MPa)	A <sub>main</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>assist</sub> (mm <sup>2</sup> )	Q <sub>sp</sub> (N)	Q <sub>a</sub> (Ton)
<i>Main Piling System</i>					
A1-2	16	62800	75988	2220608	74,020
A1-3	16	62800	75988	2220608	74,020
A1-4	16	62800	75988	2220608	74,020
A1-7	16	62800	75988	2220608	74,020
A1-8	16	62800	75988	2220608	74,020
A1-9	16	62800	75988	2220608	74,020
<i>Side Piling Mechanism</i>					
A1-1	16	98125	-	1570000	52,333
A1-5	16	98125	-	1570000	52,333
A1-6	16	98125	-	1570000	52,333
A1-10	16	98125	-	1570000	52,333
<b>Total</b>					653,455

Tabel 4. Beban izin fondasi abutment 2<sup>[3]</sup>

No	P (MPa)	A <sub>main</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>assist</sub> (mm <sup>2</sup> )	Q <sub>sp</sub> (N)	Q <sub>a</sub> (Ton)
<i>Main Piling System</i>					
A2-12	16	62800	75988	2220608	74,020
A2-13	16	62800	75988	2220608	74,020
A2-14	16	62800	75988	2220608	74,020
A2-17	16	62800	75988	2220608	74,020
A2-18	16	62800	75988	2220608	74,020
A2-19	16	62800	75988	2220608	74,020
<i>Side Piling Mechanism</i>					
A2-11	16	98125	-	1570000	52,333
A2-15	16	98125	-	1570000	52,333
A2-16	16	98125	-	1570000	52,333
A2-20	16	98125	-	1570000	52,333
<b>Total</b>					653,455

#### 4.2.2 Beban Izin Kelompok Tiang

Dengan konfigurasi kelompok tiang seperti pada **Gambar 5**, besarnya efisiensi kelompok tiang eksisting ( $e_g$ ) adalah 79,7% dihitung dengan **Persamaan 4**. Maka selanjutnya, beban izin kelompok tiang eksisting ( $Q_{pg}$ ) ditentukan dengan **Persamaan 3**, sehingga didapatkan besarnya adalah 520,804 Ton. Berdasarkan perhitungan pembebanan, besarnya beban vertikal ( $V$ ) pada kedua abutment, dapat dilihat pada **Tabel 2**, adalah 572,555 Ton. Dapat disimpulkan bahwa fondasi pada kedua abutment Jembatan Kalanggeta tidak aman dalam menahan beban karena beban izin kelompok tiang lebih kecil daripada beban yang bekerja<sup>[3]</sup>.



Gambar 5. Konfigurasi kelompok tiang eksisting<sup>[3]</sup>

Maka, fondasi tiang pada kedua abutment membutuhkan perkuatan untuk meningkatkan beban izin fondasi dalam menahan beban yang bekerja. Perkuatan yang direncanakan adalah menambah jumlah tiang pada kedua abutment.

#### 4.3 Perancangan Perkuatan Fondasi Tiang

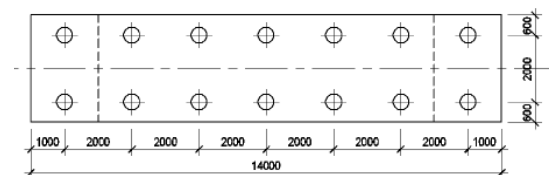
Berdasarkan hasil perhitungan beban dan daya dukung fondasi tiang, dinyatakan bahwa fondasi abutment 1 dan abutment 2 tidak aman, karena beban vertikal ( $V$ ) yang bekerja lebih besar daripada beban izin kelompok tiang yang ada ( $Q_{pg}$ ). Maka, fondasi pada kedua abutment membutuhkan perkuatan agar fondasi dapat menahan beban yang bekerja.

Perkuatan yang dilakukan adalah menambahkan jumlah tiang pada masing-masing abutment jembatan. Tujuan ditambahnya jumlah tiang adalah untuk meningkatkan beban izin fondasi tiang agar dapat menahan beban yang bekerja. Namun, penambahan tiang juga diiringi pelebaran *pile cap*, sehingga berat sendiri struktur ikut bertambah dan terdapat beban tambahan lain.

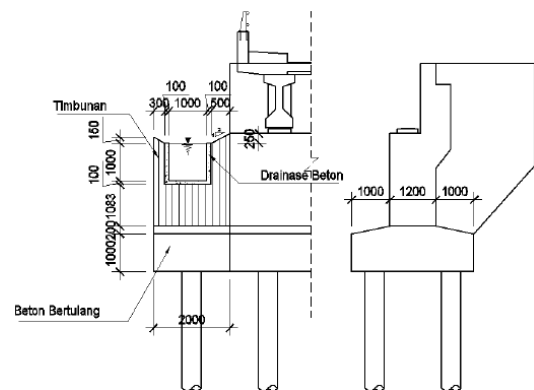
Penambahan tiang dilakukan di samping *pile cap* eksisting menggunakan tiang pancang Ø50 cm sebanyak 4 titik untuk masing-masing abutment, seperti terlihat pada **Gambar 6**. Metode pelaksanaan yang dilakukan menggunakan *side*

*piling mechanism*, sehingga beban izin tiang tunggal ( $Q_a$ ) untuk tiang baru adalah 52,333 ton<sup>[3]</sup>. Mekanisme ini dipilih dikarenakan posisi tiang baru yang berada di ujung, dan hanya dapat dicapai dengan *side piling mechanism*.

Beban tambahan terdiri dari berat sendiri struktur akibat pelebaran *pile cap*, beban urugan, dan drainase di atas *pile cap* baru tersebut, seperti terlihat pada **Gambar 7**. Kondisi samping kanan dan kiri abutment tipikal. Hasil perhitungan beban vertikal akibat adanya tambahan beban dapat dilihat pada **Tabel 5**.



Gambar 6. Konfigurasi kelompok tiang setelah perkuatan<sup>[3]</sup>



Gambar 7. Beban tambahan akibat perkuatan<sup>[3]</sup>

Tabel 5. Total beban vertikal setelah perkuatan

Jenis Beban	Besar	Satuan
Beban Vertikal ( $V$ )	572,555	Ton
Beban Mati ( <i>Pile Cap</i> Baru)	34,944	Ton
Beban Timbunan	35,842	Ton
Beban Drainase	4,915	Ton
Beban Air	6,272	Ton
<b>Total</b>	<b>654,528</b>	<b>Ton</b>

#### 4.3.1 Beban Izin Kelompok Tiang Setelah Perkuatan

Berdasarkan konfigurasi kelompok tiang setelah perkuatan pada **Gambar 6**, besarnya efisiensi kelompok tiang adalah 78,8%, dihitung kembali menggunakan **Persamaan 4**. Maka, beban izin kelompok tiang setelah diperkuat ( $Q_{pg}$ ) kedua abutment adalah sebagai berikut:

$$\Sigma Q_a \text{ aktual} = 653,455 \text{ Ton}$$

$$\Sigma Q_a \text{ baru} = 4 \times 52,333 = \underline{209,333 \text{ Ton}}$$

$$\Sigma Q_a = 862,788 \text{ Ton}$$

$$Q_{pg} = \Sigma Q_a \times e_g$$

$$= 679,877 \text{ Ton} > 654,528 \text{ Ton} \leftarrow \text{Aman}$$

Perkuatan dengan menambah 4 buah titik tiang pancang dengan diameter 50 cm pada kedua abutment mampu menahan beban vertikal yang bekerja. Selanjutnya dilakukan kontrol terhadap distribusi beban dan penurunan kelompok tiang.

### 4.3.2 Distribusi Pembebanan

Analisis distribusi pembebanan dilakukan sebagai kontrol terhadap perkuatan yang sudah dilakukan. Distribusi pembebanan ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya beban yang ditahan oleh masing-masing tiang pada setiap abutment. Distribusi pembebanan dihitung menggunakan **Persamaan 5**. Hasil distribusi pembebanan pada abutment 1 dan abutment 2 setelah penambahan tiang dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

Tabel 6. Distribusi beban abutment 1 setelah perkuatan<sup>[3]</sup>

No	x	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	Q (Ton)	Q <sub>a</sub> (Ton)	Ket
1	-4	-1	16	1	42,131	52,360	Aman
2	-2	-1	4	1	42,300	74,058	Aman
3	0	-1	0	1	42,469	74,058	Aman
4	2	-1	4	1	42,638	74,058	Aman
5	4	-1	16	1	42,807	52,360	Aman
6	4	1	16	1	51,373	52,360	Aman
7	2	1	4	1	51,204	74,058	Aman
8	0	1	0	1	51,035	74,058	Aman
9	-2	1	4	1	50,866	74,058	Aman
10	-4	1	16	1	50,697	52,360	Aman
21	-6	-1	36	1	42,976	52,360	Aman
22	6	-1	36	1	41,962	52,360	Aman
23	6	1	36	1	50,528	52,360	Aman
24	-6	1	36	1	51,542	52,360	Aman

Tabel 7. Distribusi beban abutment 2 setelah perkuatan<sup>[3]</sup>

No	x	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	Q (Ton)	Q <sub>a</sub> (Ton)	Ket
1	-	-	16	1	51,035	52,360	Aman
2	4	1	4	1	51,035	74,058	Aman
3	-	-	0	1	51,035	74,058	Aman
4	2	1	4	1	51,035	74,058	Aman
5	0	-	16	1	51,035	52,360	Aman
6	2	1	16	1	42,469	52,360	Aman
7	4	-	4	1	42,469	74,058	Aman
8	4	1	0	1	42,469	74,058	Aman
9	2	-	4	1	42,469	74,058	Aman
10	0	1	16	1	51,035	52,360	Aman
21	-	1	36	1	42,469	52,360	Aman
22	2	1	36	1	42,469	52,360	Aman

No	x	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	Q (Ton)	Q <sub>a</sub> (Ton)	Ket
23	-	1	36	1		52,360	Aman
24	4	1	36	1		52,360	Aman
	-	1					
	6	-					
	6	1					
	6	-					
	-	1					
	6	1					

Hasil analisis distribusi beban pada kedua abutment, mengindikasikan bahwa seluruh tiang pada kedua abutment aman dan dapat menahan beban yang telah terdistribusi ke masing-masing kepala tiang, karena tidak terdapat beban yang melebihi beban izin tiang (Q<sub>a</sub>).

### 4.3.3 Analisis Penurunan

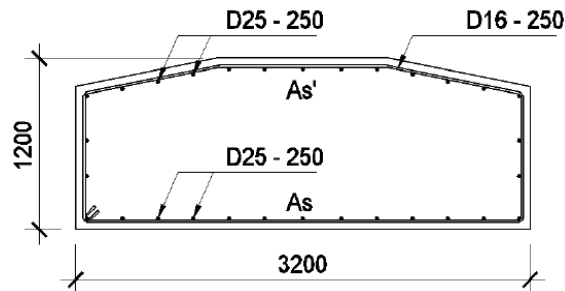
Pada pelaksanaan pemancangan, kedalaman tiang yang paling rendah adalah pada elevasi -12,5 meter, sehingga panjang tiang yang tertanam setelah dikurangi kedalaman galian struktur adalah 9 meter<sup>[3]</sup>. Elevasi dasar tiang berada pada tanah pasir, sehingga penurunan tiang tunggal dapat dihitung menggunakan **Persamaan 6**, sedangkan untuk penurunan kelompok tiang dapat dihitung menggunakan **Persamaan 7**.

Hasil perhitungan penurunan kelompok tiang pada kedua abutment 0,567 inchi = 14,402 mm, mengindikasikan bahwa besarnya penurunan yang terjadi tidak melebihi besarnya penurunan izin, yaitu 25,4 mm<sup>[1][3][4]</sup>. Sehingga, perkuatan fondasi dengan menambah 4 titik pada masing-masing abutment jembatan dapat diterima. Selanjutnya adalah dilakukan perancangan sambungan beton eksisting dan beton baru *pile cap* agar dapat bekerja secara bersamaan.

### 4.4 Perancangan *Post-Installed Rebar Connection*

Perancangan penulangan pada *pile cap* abutment Jembatan Kalanggeta, dilakukan dengan memeriksa kekuatan tulangan terhadap lentur dan geser *pile cap* eksisting terlebih dahulu. Apabila tulangan masih dapat menahan gaya dalam yang bekerja, maka tulangan pada *pile cap* cukup diteruskan saja pada *pile cap* baru. Hasil analisis penulangan terhadap momen lentur dan geser lentur, mengindikasikan bahwa tulangan *pile cap* masih dapat menahan gaya dalam yang terjadi, sehingga tulangan cukup diteruskan saja<sup>[3]</sup>. Detail penulangan *pile cap* eksisting dan *pile cap* baru dapat dilihat pada **Gambar 8**. Sambungan antara beton eksisting dan

beton baru *pile cap* menggunakan metode *post-installed rebar connection* (PIRC).



Gambar 8. Penulangan *pile cap* baru<sup>[3]</sup>

Metode PIRC menggunakan tulangan ulir (*rebar*) dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal 400 MPa sebagai penyalur setiap tulangan pada struktur beton eksisting ke struktur baru dan *injectable adhesive* sebagai perekat antara rebar dan beton eksisting<sup>[5]</sup>. Perancangan PIRC menggunakan *injectable adhesive* HILTI HIT-RE 500 SD, seperti pada **Gambar 9**. Pemilihan adhesif ini didasari oleh aplikasi dan keunggulan yang dapat dilihat pada **Tabel 8**.



Gambar 9. Adhesif HILTI HIT-RE 500 SD<sup>[5]</sup>

Tabel 8. Aplikasi dan keunggulan HILTI HIT-RE 500SD<sup>[5]</sup>

Aplikasi	Keunggulan
<ul style="list-style-type: none"> <li>Digunakan untuk sambungan struktural dengan <i>post-installed rebar</i>, misal perpanjangan/ sambungan dinding, pelat lantai, tangga, kolom, pondasi, dll</li> <li>Pengankuran sambungan pada struktur baja, misal kolom baja dan balok profil (<i>beam</i>)</li> <li>Pengankuran untuk struktur baja sekunder</li> <li>Sebagai pengganti tulangan yang salah tempat atau yang hilang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cocok digunakan pada beton yang retak maupun utuh</li> <li>Penggunaan untuk stuktur yang terpengaruh oleh gempa</li> </ul>

#### 4.4.1 Analisis Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran (*lap splice*) PIRC ke beton eksisting dapat dihitung dengan mengalikan  $f_{bd,seismic}$  (*bond strength*) dengan luas selimut tulangan sepanjang penyaluran, sesuai **Persamaan 8** dan **Persamaan 9**. Tulangan ulir yang digunakan sebagai PIRC memiliki diameter 19 mm, sehingga sesuai dengan spesifikasi adhesif, lubang bor yang dibutuhkan berdiameter 22 mm. Besarnya  $f_{bd,seismic}$  untuk D19 dengan kelas beton C20/25 adalah 2,3 MPa<sup>[5]</sup>. Maka, besarnya panjang penyaluran yang dibutuhkan ( $l_{inst}$ ) adalah sebagai berikut:

$$l_{inst} = l_{min} \leq \frac{A_s \cdot f_y}{f_{bd,seismic} \cdot \pi \cdot D_s} \leq l_{max}$$

$$= 300 \leq \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 400}{2,3 \times \pi \times 19} \leq 2.000$$

$$= 300 \text{ mm} \leq 826,087 \text{ mm} \leq 2.000 \text{ mm}$$

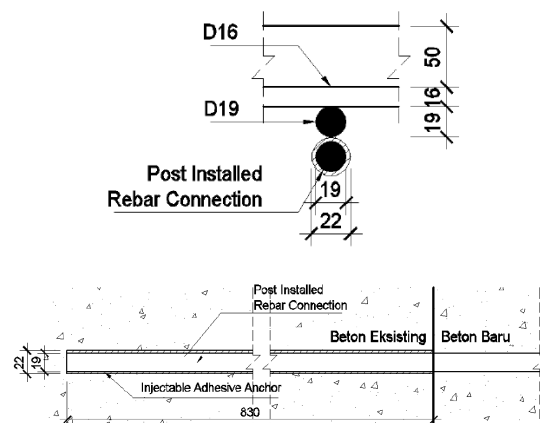
Panjang penyaluran yang dibutuhkan untuk PIRC adalah 826,087 mm  $\approx$  830 mm untuk setiap tulangan yang diteruskan, seperti terlihat pada **Gambar 10**. Selanjutnya, PIRC dikontrol terhadap gaya tarik pada tulangan yang bekerja ( $T_s$ ). Besarnya  $T_s$  berdasarkan **Persamaan 10**, adalah 1.114.057 N.

$$13 \times \pi \times D_s \times l_{inst} \times f_{bd,seismic} \geq T_s$$

$$13 \times \pi \times 19 \times 830 \times 2,3 \geq 1.114.057 N$$

$$1.481.333 N \geq 1.114.057 N \leftarrow \text{Aman}$$

Maka, panjang penyaluran yang dibutuhkan ( $l_{inst}$ ) untuk sambungan PIRC dapat diterima, yaitu 830 mm.



Gambar 10. Panjang penyaluran PIRC ke beton eksisting<sup>[3]</sup>

#### 4.4.2 Pemasangan *Post-Installed Rebar Connection*

Proses pemasangan PIRC harus mengacu pada spesifikasi produk adhesif yang digunakan sebagai perekat tulangan dan beton, sehingga pemasangan harus masuk ke dalam beton eksisting<sup>[10]</sup>. Untuk HILTI HIT-RE 500 SD, proses pemasangan PIRC dapat mengikuti diagram alir pada **Gambar 11**. Proses pembersihan lubang yang telah dibor dilakukan dengan dua metode yaitu *compressed air cleaning* dan pembersihan menggunakan sikat baja, seperti terlihat pada **Gambar 12**. Pembersihan harus dilakukan sesuai dengan spesifikasi adhesif agar tidak terdapat partikel-partikel yang dapat mengurangi kuat ikatan antara beton eksisting dan tulangan<sup>[3][5][10]</sup>.

Proses penyuntikan adhesif ke dalam lubang yang telah dibersihkan menggunakan nozel khusus agar adhesif dapat tercampur dengan sempurna, seperti terlihat pada **Gambar 13**. Pada saat pemasangan tulangan sambungan, tulangan harus sambil diputar agar adhesif merata sepanjang panjang penyaluran. Tahap terakhir pekerjaan PIRC adalah perawatan. Perawatan dilakukan dengan mendinginkan sambungan selama waktu tertentu tanpa diberikan beban<sup>[3][5]</sup>. **Tabel 9** merupakan lamanya waktu perawatan berdasarkan suhu beton eksisting.

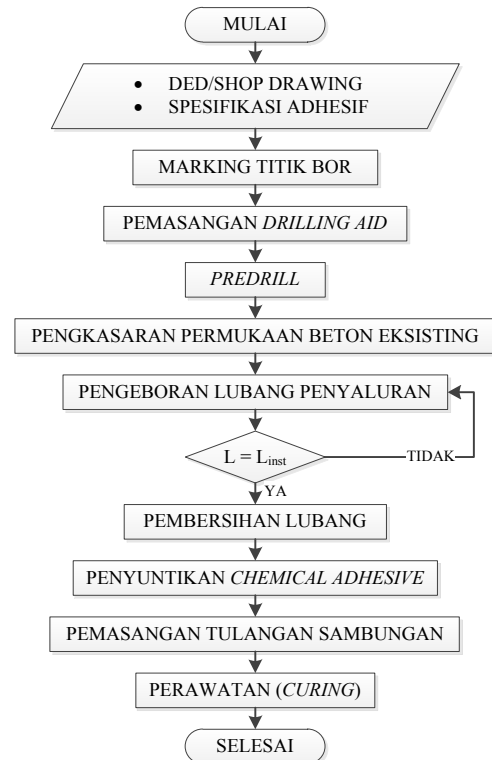
Tabel 9. Waktu perawatan PIRC<sup>[5]</sup>

Temperatur Beton Eksisting	Waktu Kerja*	Initial Curing Time	Curing Time
$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{BM}} \leq 10^{\circ}\text{C}$	2 jam	18 jam	72 jam
$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{BM}} \leq 15^{\circ}\text{C}$	90 menit	12 jam	48 jam
$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{BM}} \leq 20^{\circ}\text{C}$	30 menit	9 jam	24 jam
$20^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{BM}} \leq 25^{\circ}\text{C}$	20 menit	6 jam	12 jam
$25^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{BM}} \leq 30^{\circ}\text{C}$	20 menit	5 jam	12 jam
$30^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{BM}} \leq 40^{\circ}\text{C}$	12 menit	4 jam	8 jam
$T_{\text{BM}} = 40^{\circ}\text{C}$	12 menit	4 jam	4 jam

Keterangan:

\*Waktu kerja adalah waktu dimana tulangan dapat dimasukkan dan diatur

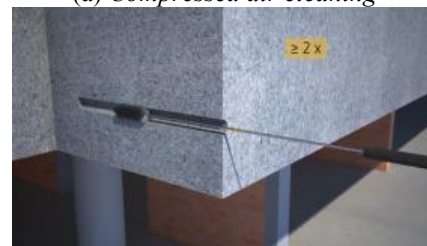
\*\**Curing time* adalah waktu perawatan sambungan sebelum dapat dibebani



Gambar 11. Diagram alir pemasangan PIRC<sup>[3]</sup>

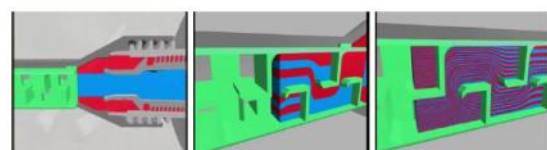


(a) *Compressed air cleaning*



(b) Pembersihan dengan sikat baja

Gambar 12. Proses pembersihan lubang<sup>[3]</sup>



Gambar 13. Proses pencampuran adhesif dengan nozel khusus<sup>[3]</sup>



## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi daya dukung fondasi dan perancangan perkuatan Jembatan Kalanggeta, maka dapat disimpulkan bahwa perkuatan yang dibutuhkan agar fondasi mampu menahan beban yang bekerja, serta beban tambahan adalah dengan menambah jumlah tiang pancang Ø50 cm sebanyak 4 titik pada kedua abutment jembatan. Besarnya beban izin kelompok tiang ( $Q_{pg}$ ) yang dihasilkan adalah 679,877 Ton, lebih besar daripada beban yang bekerja ( $V$ ), yaitu 654,528 Ton. Proses pemancangan tiang baru dilaksanakan dengan *hydraulic static pile driver* 2400 kN menggunakan *side piling mechanism*.

Hasil analisis distribusi pembebanan fondasi tiang setelah dilakukannya perkuatan, mengindikasikan bahwa seluruh tiang dapat menahan beban yang telah terdistribusi ke masing-masing kepala tiang. Besarnya beban izin fondasi ( $Q_a$ ) lebih besar daripada beban yang terdistribusi ( $Q$ ). Hasil analisis penurunan kelompok tiang mengindikasikan bahwa, besarnya penurunan yang terjadi tidak melebihi besarnya penurunan izin. Sehingga, perkuatan fondasi dengan menambah 4 titik pada masing-masing abutment jembatan dapat diterima.

Sambungan antara struktur beton *pile cap* eksisting dan *pile cap* baru menggunakan metode *post-installed rebar connection*, dengan panjang penyaluran 830 mm ke dalam beton eksisting untuk setiap tulangan yang diteruskan. Tulangan ulir D19 dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) 400 MPa digunakan sebagai sambungan PIRC. Proses pemasangan *post-installed rebar connection* harus mengikuti spesifikasi produk adhesif agar didapatkan hasil yang baik, sehingga struktur beton eksisting dan beton baru dapat bekerja secara bersamaan (*monolith*).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam penelitian ini. Khususnya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada UPPM Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan dana bantuan penelitian, serta dukungan dari KBK Geoteknik dan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. E. Bowles, “*Foundation Analysis and Design: Fourth Edition*”, The McGraw-Hill Companies, New York, 1998.
- [2] A. Febriansya, “Studi Kasus – Evaluasi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Jembatan Kalnggeta, Kabupaten Serang,

Provinsi Banten”, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, 2016.

- [3] A. Febriansya, “Tugas Akhir – Perancangan Detail Perkuatan Pondasi Tiang Pasca Pelaksanaan Jembatan Kalanggeta Kabupaten Serang, Provinsi Banten”, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, 2016.
- [4] H. C. Hardiyatmo, “Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi Ketiga”, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2015.
- [5] HILTI, “*Post-Installed Rebar Connection*”, Hilti Corporation, Schaan, 2011.
- [6] P. P. Raharjo, “Manual Tiang Pancang Edisi 3”, *Geotechnical Engineering Center*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2005.
- [7] SNI 1725:2016, “Pembebanan untuk Jembatan”, Badan Standardisasi Nasional, 2016.
- [8] SNI 2833:2008, “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan”, Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [9] N. Randi dan J. Kunz, “*Post-Installed Reinforcement Connections at Ultimate and Serviceability Limit States*”, *Structural Concrete, Journal of the fib*, volume 15, ISSN 1464-4177, 2014.
- [10] R. Eligehausen dan H. Spieth, “*Post-Installed Rebar Connections*”, *Institute for Construction Materials, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany*, 2011.
- [11] G. Muciaccia, A. Consiglio, dan G. Rosati, “*Behavior and Design of Post-Installed Rebar Connections under Temperature*”, *Key Engineering Materials*, Vol. 711, pp. 783-790, 2016.