

# INOVASI METODE KERJA PADA KONSTRUKSI TIANG BOR BETON DI TANAH LUNAK PADA PENGGANTIAN JEMBATAN SEI ALALAK

**Almi Mardhani**

PJN Wilayah I Prov. Kalimantan Selatan  
Direktorat Jenderal Bina Marga  
Kementerian PUPR  
mardhani.almi@pu.go.id

**Sijadul Jamal**

Kepala Proyek Penggantian Jembatan Sei Alalak  
Direktorat Jenderal Bina Marga  
Kementerian PUPR  
sjamal@wikamail.id

## Abstract

The Sei Alalak Bridge is a bridge that connects Banjarmasin City with Marabahan Regency. To reduce traffic problems on the bridge, it is necessary to replace the old bridge with a new one. The new bridge was planned to have 4 traffic lanes with a total length of 850 m. This study discusses the implementation technique of concrete bore pile construction as a deep foundation for the Sei Alalak Bridge. This paper describes specifically in detail the working method applied, using a rotary drilling system plus several innovations including a strict implementation control system, a stable working platform, the use of polymer modified bentonite and temporary casing for bore piles, and self-compacting concrete mixes. This study shows that the innovative work method applied to this project is able to optimize construction costs compared to other work methods.

**Keywords:** bridge; bridge foundation; concrete bore pile; work method innovation.

## Abstrak

Jembatan Sei Alalak adalah jembatan yang menghubungkan Kota Banjarmasin dengan Kabupaten Marabahan. Untuk mengurangi permasalahan lalu lintas di jembatan, dilakukan penggantian jembatan lama dengan jembatan yang baru. Jembatan baru direncanakan mempunyai 4 lajur lalu lintas dengan panjang total 850 m. Pada studi ini dibahas teknik pelaksanaan konstruksi tiang bor beton sebagai pondasi dalam untuk Jembatan Sei Alalak. Secara khusus pada makalah ini diuraikan dengan rinci metode kerja yang diterapkan, dengan menggunakan sistem *rotary drilling* ditambah beberapa inovasi yang meliputi sistem kontrol pelaksanaan yang ketat, landasan kerja yang stabil, penggunaan polymer modified bentonite dan selubung sementara tiang bor, serta campuran beton memadat sendiri. Studi ini menunjukkan bahwa inovasi metode kerja yang diterapkan pada proyek ini mampu mengoptimalkan biaya konstruksi dibandingkan dengan metode kerja yang lain.

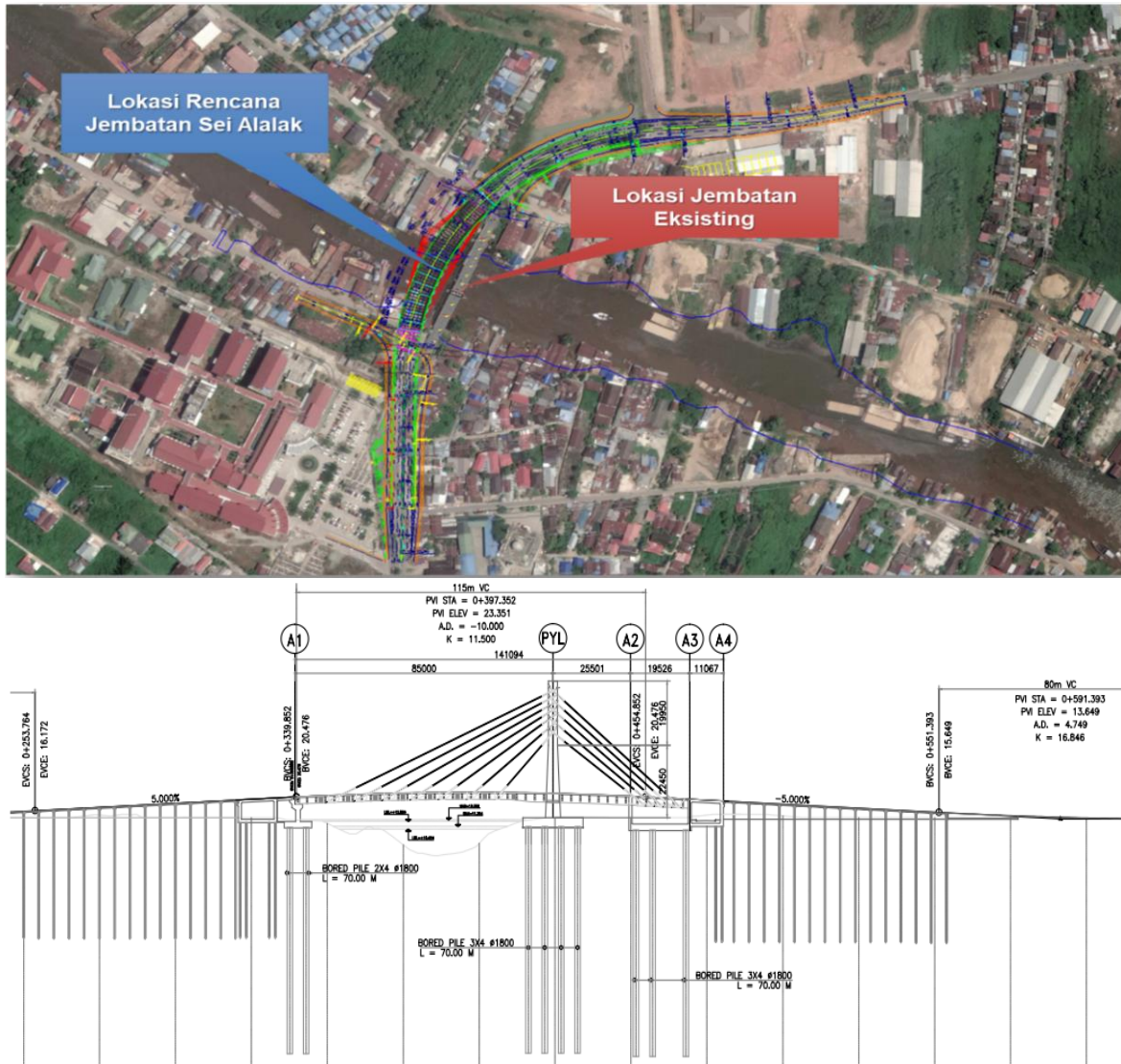
**Kata-kata kunci:** jembatan; pondasi jembatan; tiang bor beton; inovasi metode kerja.

## PENDAHULUAN

Jembatan Sei Alalak merupakan jembatan yang melintasi sungai Alalak di Kota Banjarmasin dan merupakan jembatan kelas II, yang berfungsi menghubungkan Kota Banjarmasin dengan Kabupaten Marabahan. Karena lebar jembatan masih berukuran 7 m, sementara volume lalu lintas terus meningkat, kemacetan lalu lintas sering terjadi di jembatan ini. Hal ini tentu saja berakibat pada terganggunya proses lalu lintas angkutan orang dan barang.

Menindaklanjuti permasalahan tersebut, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional XI Banjarmasin menginisiasi penggantian Jembatan Sei Alalak, agar permasalahan lalu lintas di jembatan tersebut dapat ditanggulangi. Jembatan Sei Alalak diganti dengan jembatan yang

baru, yang mempunyai 4 lajur lalu lintas, dengan panjang total 315 m. Jembatan baru ini ditopang dengan jembatan utama tipe *stay cable*, dengan panjang 130 m dan dihubungkan dengan jembatan pendekat struktur *pile slab* sepanjang total 185 m di kedua sisi. Penggantian Jembatan Sei Alalak dikerjakan dengan biaya Surat Berharga Syariah Negara SBSN Tahun Anggaran 2018-2021. Ilustrasi penggantian Jembatan Sei Alalak ini dapat dilihat pada Gambar 1.



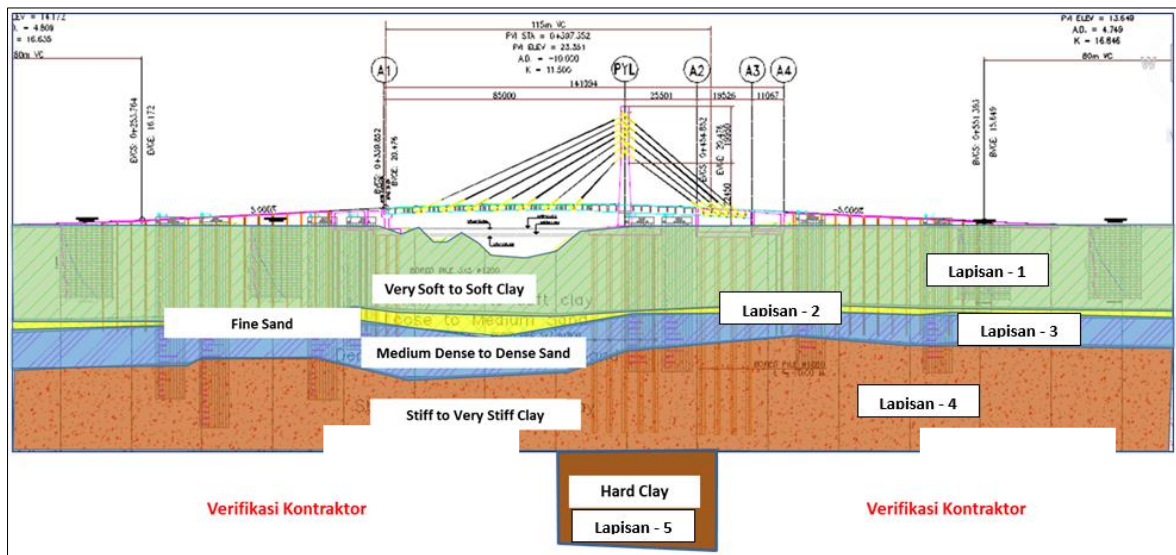
**Gambar 1** Ilustrasi Penggantian Jembatan Sei Alalak

Jembatan Sei Alalak pengganti dibangun di atas tanah lunak, sehingga sekitar 40% total anggaran penggantian Jembatan ini dialokasikan untuk konstruksi pondasi jembatan tersebut. Profil tanah Kota Banjarmasin sendiri, yang relatif diliputi dengan tanah lunak (Ma'ruf et al., 2019), merupakan suatu permasalahan selain anggaran yang terbatas. Oleh karena itu, optimalisasi konstruksi pondasi dilaksanakan dengan metode rotary drilling, dengan beberapa inovasi metode kerja, termasuk diantaranya penggunaan *polimer modified*

bentonite serta selubung sementara yang diperpanjang (*extended temporary casing*). Pada makalah ini dibahas inovasi metode kerja tersebut dilaksanakan dan hasil penerapannya, khususnya pada tiang uji, yang didiskusikan secara detail.

## KONDISI TANAH

Lokasi Jembatan Sei Alalak pengganti terletak pada ruas jalan nasional Banjarmasin–Marabahan. Profil lapisan tanah di sekitar lokasi penggantian jembatan Sei Alalak di Banjarmasin relatif konsisten rendah, sehingga untuk mendapat daya dukung yang direncanakan, digunakan 52 titik tiang bor beton dengan diameter 1,8 m dan dengan kedalaman rencana masing-masing tiang bor adalah 70 meter.



**Gambar 2** Rangkuman Hasil Penyelidikan Tanah

**Tabel 1** Lapisan Tanah di Lokasi Lubang Bor 09

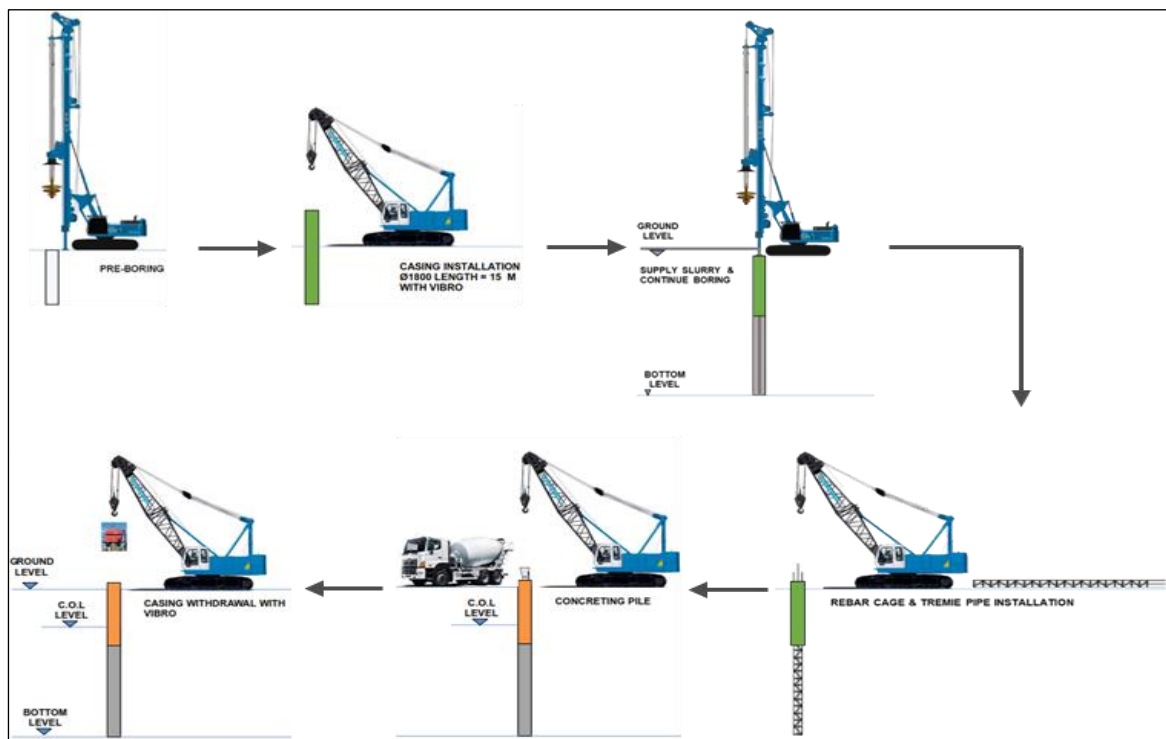
No. Lapisan	Kedalaman (m)	N-SPT	$\gamma_{wet}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Water Content (wn) (%)	$e$ (-)	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (deg)	$C_c$ (-)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /s)
Lapisan-1	0–26	< 2	15,00	70–80	1,70	40–50	30–40	5–14	-	0,60	2e-04–8e-04
Lapisan-2	26–31	8–15	17,00	-	-	-	-	-	28	-	-
Lapisan-3	31–47	25–>60	17,00	-	-	-	-	-	35	-	-
Lapisan-4	47–63	13–25	18,00	44–50	1,07	50–60	30–40	5N-SPT	-	0,38–0,42	1,05e-02–3,07e-03
Lapisan-5	63–100	30	18,50	-	-	-	-	5N-SPT	-	-	-

Kondisi lapisan tanah di lapangan merupakan salah satu permasalahan dalam pelaksanaan konstruksi tiang bor, karena nilai Soil Penetration Test (SPT, N60) yang lebih besar dari 32 baru diperoleh pada kedalaman 60 m atau lebih, yang detailnya dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 1. Permasalahan lainnya adalah sebagian besar lokasi pengeboran berada pada bibir sungai, yang mempunyai kedalaman dasar sungai sekitar 12 m dari muka

air banjir (MAB) serta pasang surut yang tinggi, yang menyebabkan perbedaan ketinggian muka air hingga sekitar 2 m.

## TANTANGAN DAN INOVASI

Untuk mengatasi permasalahan yang ada, diputuskan metode yang digunakan untuk konstruksi tiang bor adalah metode *wet process*, yang merupakan proses konstruksi pondasi tiang bor dengan menggunakan *rotary drilling* yang didukung oleh bubur tanah atau *slurry*. Pengeboran dimulai dengan melakukan *preboring* hingga kedalaman 2 m menggunakan *bor auger*, untuk membuang tanah timbunan. Setelah dilakukan pengeboran kosong hingga 6 m, pengeboran dilanjutkan dengan bantuan 15 m *temporary casing* yang telah terpasang dengan *hydraulic vibratory driver*. Kemudian pengeboran dilanjutkan hingga elevasi akhir rencana tiang bor, dengan dibantu *slurry* untuk menjaga stabilitas lubang. Setelah lubang mencapai kedalaman yang direncanakan, pengeboran dilanjutkan dengan pembersihan dasar lubang, menggunakan *Cleaning Bucket*. Kemudian kedalaman lubang aktual dicek dan divalidasi dengan menggunakan meteran kain. Setelah itu konstruksi dilanjutkan dengan melakukan instalasi tulangan dan pembetonan hingga 2 m di atas *cut off level*. Uraian pekerjaan ini dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Ilustrasi Urutan Pekerjaan Pondasi dalam Penggantian Jembatan Sei Alalak

Selain itu, diterapkan pula beberapa inovasi metode kerja untuk menjaga mutu pelaksanaan konstruksi pondasi tiang bor beton tersebut, yaitu:

- 1) Melakukan sistem kontrol pelaksanaan pekerjaan yang sangat ketat di lapangan;
- 2) Membuat landasan kerja (*working platform*) yang rata dan stabil, khususnya pada konstruksi tiang bor yang dilaksanakan di air;
- 3) Menggunakan bantuan *slurry* atau pada penggantian Jembatan Sei Alalak ini digunakan *polymer modified bentonite* untuk mencegah kelongsoran dinding pondasi bor;
- 4) Menggunakan selubung sementara tiang bor (*extended temporary casing*) sepanjang 15 m, yang nantinya akan ditarik kembali setelah proses pengecoran tiang bor selesai; dan
- 5) Menggunakan mutu beton  $f_c' 35$  MPa dengan kemampuan mengalir sendiri dan *slow setting* hingga 8 jam agar dapat dipastikan *workability* beton di lapangan dan memungkinkan selubung sementara dapat ditarik kembali.

## PERENCANAAN MUTU

Pelaksanaan konstruksi untuk 1 titik tiang bor, dimulai dari proses pengeboran hingga selesainya proses pembetonan, memerlukan waktu hingga 37 jam. Hal ini dapat menyebabkan pelaksanaan konstruksi pondasi tiang bor beton ini rentan terhadap kesalahan atau *error*. Oleh sebab itu, untuk menghindari diulangnya pekerjaan akibat kesalahan konstruksi, diterapkan prosedur detail untuk masing-masing tahapan pekerjaannya (lihat Gambar 4). Selain itu, perencanaan mutu dibuat untuk memastikan pelaksanaan konstruksi 52 titik tiang bor dengan kedalaman 70 m dapat dilaksanakan secara optimal.

### Landasan Kerja dan Urutan Pengeboran

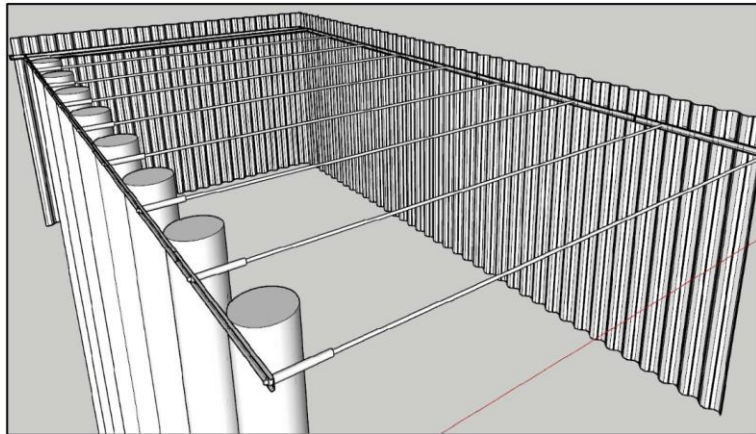
Hal pertama yang dilakukan adalah mempersiapkan area dan landasan kerja yang memadai, untuk pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang bor di lapangan. Penyiapan area dan landasan kerja ini dilakukan dengan menimbun area pelaksanaan pondasi bor dan memancang *sheet pile* sepanjang 24 m sebagai *cofferdam* (lihat Gambar 5 dan Gambar 6).

Untuk mencegah dan meminimalisir pergerakan tanah dasar yang terjadi, urutan pemancangan dilakukan dari titik pondasi bor sisi terdalam atau sisi darat, kemudian *sheet pile* terpancang dihubungkan dengan pondasi bor sisi terdalam tersebut menggunakan batang tarik. Urutan pengeboran dilanjutkan dengan mempertimbangkan lokasi alat bor yang diharapkan sebisa mungkin bertumpu pada pondasi *bored pile* yang tercor terlebih dahulu, dengan memperhatikan umur dan kuat tekan beton pondasi terdekat, serta aksesibilitas dan kemudahan *handling* material dan pergerakan alat bor. Urutan konstruksi tiang bor tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.

Pekerjaan	Durasi	Perencanaan Mutu
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pekerjaan Persiapan <i>Preliminary works</i> </div>	1,5 Jam <i>1,5 hr</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesesuaian Koordinat tiang (desain dan lapangan)</li> <li>- Cek Elevasi dan level pemotongan</li> </ul>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pengeboran Awal <i>Pre-Boring</i> </div>	1 Jam <i>1 hr</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitor kelurusan pengeboran melalui alat control pada Kelly</li> <li>- Monitor penempatan dan kelurusan pemasangan selubung sementara</li> <li>- Monitor waktu pengeboran</li> <li>- Monitor kondisi tanah pengeboran dan tanah hasil pengeboran. Sehingga dapat diketahui kesesuaian kondisi lapisan tanah dengan investigasi tanah yang telah dilakukan</li> <li>- Cek Kedalaman akhir pengeboran baik sebelum dan pembersihan dan dasar lubang</li> </ul>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pemasangan Selubung Sementara <i>Driving Temporary Casing</i> </div>	0,5 Jam <i>0,5 hr</i>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pengeboran Hingga Kedalaman Rencana <i>Boring to Planned Depth</i> </div>	8 Jam <i>8 hr</i>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pembersihan Dasar Lubang <i>Cleaning</i> </div>	0,25 jam <i>0,25 hr</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cek properties polymer modified bentonite baik yang segar ataupun yang telah digunakan</li> <li>- Cek kedalaman akhir pengeboran setelah proses Desanding selesai</li> <li>- Cek las sambungan masing tulangan</li> <li>- Monitor waktu pemasangan besi tulangan</li> </ul>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Proses Desanding <i>Desanding</i> </div>	2 - 4 Jam <i>2 - 4 hr</i>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pemasangan Tulangan <i>Rebar Cage Installaion</i> </div>	3 – 8 Jam <i>3 – 8 hr</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cek akses <i>truck Mixer</i> menuju tiang bor serta landasan untuk penuangan beton</li> <li>- Cek dan catat panjang pipa tremie terpasang, waktu pemasangan dan estimasi volume beton</li> </ul>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Persiapan Pengecoran Tiang Bor <i>Concreting Preparation</i> </div>	1 Jam <i>1 hr</i>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pemasangan Pipa Tremie <i>Installaion of Tremie Pipe</i> </div>	2 Jam <i>2 hr</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cek kelecakan beton</li> <li>- Catat waktu kedatangan <i>truck mixer</i> dan penuangannya, serta kubikasi beton per tiap isi <i>truck mixer</i>.</li> <li>- Monitor volume beton tertuang</li> <li>- Monitor kenaikan lubang tercor,</li> </ul>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pengecoran <i>Concreting</i> </div>	8 Jam <i>8 hr</i>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Pencabutan Selubung Sementara <i>Temporary Casing Extraction</i> </div>	1 Jam <i>1 hr</i>	

Catatan: Seluruh hasil monitoring direkam untuk kemudian menjadi catatan teknis pelaksanaan

**Gambar 4** Perencanaan Mutu



**Gambar 5** Ilustrasi Lantai Kerja untuk Pengeboran Tiang Pondasi



**Gambar 6** Landasan Kerja



**Gambar 7** Urutan Pelaksanaan Pengeboran Pondasi

## Polymer Modified Bentonite

Untuk konstruksi pondasi tiang bor, material pendukung, seperti *bentonite*, sering digunakan untuk menopang dinding galian pada lapisan yang tidak stabil sebelum pembetonan selesai dilaksanakan. Bubur tanah atau *slurry* yang secara khusus mempunyai *density* yang sama dengan air namun mempunyai viskositas yang jauh lebih tinggi, telah digunakan untuk tujuan ini sejak tahun 1990-an (Lam et al., 2015).

Pada proyek Penggantian Jembatan Sei Alalak, pelaksanaan konstruksi tiang pondasi bor beton juga menggunakan bubur tanah atau *slurry*, yaitu polymer modified bentonite. *Slurry* ini di alirkan ke dalam lubang hingga setinggi permukaan tanah atau tidak kurang dari 50 cm tinggi selubung atau *casing* terpasang di atas muka tanah, untuk mencegah kelonggaran lubang selama proses pengeboran.



Gambar 8 Desanding pada Pekerjaan Tiang Bor

Tabel 2 Data Teknis Polymer Slurry pada Tiang Uji Konstruksi Tiang Bor

Id Tiang	Kedalaman (m)	Total Waktu Hingga Pengecoran (Jam:Menit)	Properti <i>Slurry</i> (Segar dan Bekas)					
			<i>Density</i> (g/ml)		<i>Viscosity</i> (Sec)		pH	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Py.A-2	73,60	19:28	1,13	1,10	41,00	40,42	10	10
Py.A-6	73,00	23:42	1,10	1,10	40,63	40,38	10	10
Py.B-2	73,60	15:06	1,10	1,10	40,40	43,68	11	11
Py.B-7	73,70	20:50	1,12	1,10	40,60	42,68	11	11
Py.C-6	72,90	17:10	1,08	1,08	40,27	40,09	11	11
Py.D-1	73,90	24:50	1,06	1,08	43,12	40,37	10	11
Py.D-2	73,90	22:57	1,06	1,07	43,32	40,14	10	11
Py.D-3	73,80	09:35	1,06	1,08	43,32	40,17	11	11
Py.D-6	73,90	12:05	1,06	1,08	43,27	40,13	11	11
CW.B-2	75,00	12:30	1,04	1,08	44,63	43,89	11	11
CW.B-3	74,90	12:59	1,06	1,08	42,17	40,20	11	11
CW.C-1	74,90	13:36	1,06	1,08	43,12	40,37	10	11

Catatan:

- 1) Kolom 3 merupakan durasi lama lubang bor terbuka dan hanya ditopang *slurry*, dihitung mulai selesainya pengeboran tiang hingga awal dimulainya pembetonan.
- 2) Dua belas Tiang pondasi tersebut merupakan tiang uji, baik sebagai tiang uji untuk tes keutuhan tiang menggunakan CSL atau tes daya dukung menggunakan pengujian beban statik aksial.

Setelah pengeboran selesai, dilanjutkan dengan proses *desanding* polymer modified bentonite (Gambar 8). Proses ini adalah proses pengayakan dan pemisahan polymer modified



bentonite dengan partikel pasir serta memonitor *properti* bubur tanah yang digunakan (Bauer, 2015). Pelaksanaan konstruksi tiang bor dengan bantuan polymer modified bentonite pada proyek ini dapat membantu mempertahankan tiang bor dalam keadaan terbuka hingga 24 jam tanpa ada efek negatif pada konstruksi tiang bor, yang secara detail dapat dilihat pada Tabel 2.

### Selubung Bor Sementara yang Diperpanjang

Untuk pelaksanaan konstruksi tiang bor dengan kondisi tanah yang tidak stabil, selubung untuk tiang bor (*bore pile casing*) biasa digunakan sebagai penyangga, baik secara sementara atau secara permanen. Selubung sementara (*temporary casing*) digunakan untuk menahan sisi lubang bor selama durasi pengeboran hingga beton selesai dituangkan ke tingkat yang cukup untuk menahan tekanan tanah dan air tanah, dan kemudian dilepas kembali menggunakan *extractor*. Umumnya penggunaan selubung bor sementara diletakkan minimal 1 m dibawah lapisan tanah yang tidak stabil untuk mencegah terjadinya *cavities* (BSI, 2015).

Penggunaan selubung sementara juga mempertimbangkan kemungkinan metode penarikan kembali selubung tersebut, sehingga umumnya selubung sementara yang digunakan untuk pendukung konstruksi pondasi dalam tiang bor adalah 6 m hingga 10 m. Pada penggantian Jembatan Sei Alalak, karena profil tanah yang sangat lunak hingga kedalaman lebih dari 30 m, serta mempertimbangkan hal-hal lain, seperti biaya dan kemungkinan penarikan kembali selubung sementara, ditetapkan konstruksi tiang bor beton menggunakan *casing* sementara yang diperpanjang hingga 15 m, yang nantinya akan dipasang dan ditarik menggunakan *hydraulic vibratory driver*. Pemasangan dan penarikan selubung sementara pada proyek ini dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9** Pemasangan dan Penarikan Selubung Sementara

## Beton Memadat Sendiri dengan Penundaan Setting Terukur

Sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga, beton memadat sendiri haruslah digunakan untuk isian tiang bor beton. Beton memadat sendiri adalah beton yang tidak memerlukan penggetaran untuk pematatannya. Beton ini dapat mengalir karena beratnya sendiri, sehingga dapat mengisi penuh dan memberikan hasil beton yang padat dan kedap tanpa pemadatan, bahkan pada penulangan yang rapat (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Oleh sebab itu, beton dengan kemampuan mengalir sendiri ini digunakan pada konstruksi tiang bor pada proyek penggantian jembatan Sei Alalak.

Kebutuhan akan penggunaan selubung sementara untuk mendukung pengeboran pada tanah lunak menyebabkan adanya persyaratan lain dalam perancangan beton untuk isian tiang bor ini. Pertama, volume beton yang diperlukan untuk 1 tiang bor sekitar 200 m<sup>3</sup>, sehingga dibutuhkan waktu hingga 8 jam untuk menyelesaikan pembetonan 1 tiang bor. Kedua, diharuskannya selubung sementara dapat ditarik kembali setelah selesai pembetonan, memberikan syarat tambahan, yaitu beton isian yang digunakan harus belum *setting* saat penarikan kembali selubung sementara dilaksanakan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, beton  $f_c' 35$  MPa yang digunakan untuk isian tiang bor adalah beton yang mempunyai kemampuan mengalir sendiri dengan waktu penundaan pengurangan slump (*slump retention*) hingga 8 jam.

Seluruh material yang digunakan untuk membuat beton berasal dari Kalimantan Selatan, dengan semen yang digunakan adalah semen OPC tipe 1 CONCH Tabalong, pasir berasal dari Barito dengan *fineness modulus* (FM) sebesar 2,74%, dan agregat kasar dari Ladung Kotabaru. Detail komposisi campuran beton yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

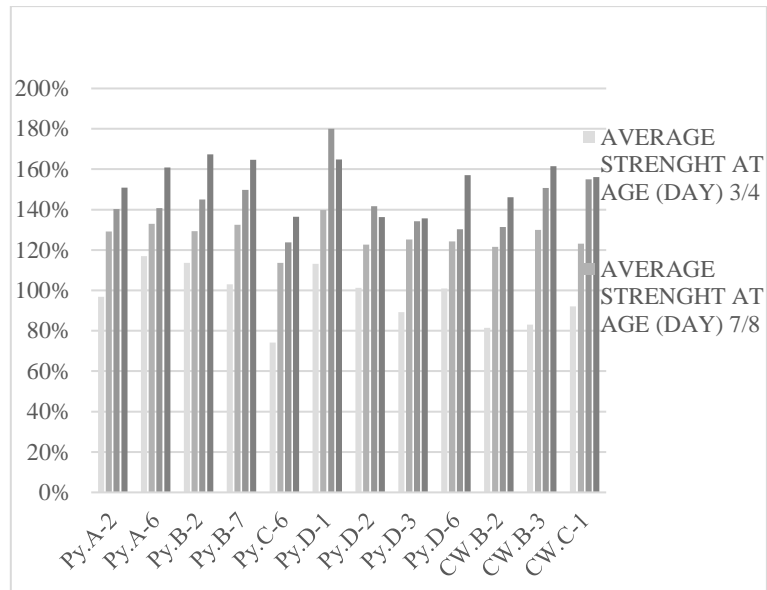
**Tabel 3** Komposisi Campuran Beton  $f_c' 35$  MPa dengan Penundaan *Setting* 8 jam

	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Agg Kasar 10–20 (kg)	Agg Kasar 20–30 (kg)	Bahan Tambah 1	Bahan Tambah 2
$f_c' 35$ MPA	425	161	712,0	749,3	402,47	3,0	1,49

Catatan:

- Bahan tambah 1 merupakan super plasticizer menggunakan SIKA–Visco Flow 8030;
- Bahan tambah 2 merupakan retarder menggunakan SIKA Plastiment 121 R;
- Seluruh benda uji beton haruslah diperlakukan mendekati keadaan pembetonan dilapangan, seperti diletakkan di tanah dan tidak direndam di dalam bak.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa seluruh beton telah melampaui kuat tekan rencana pada umur 7 hari, dengan kuat tekan rata-rata telah mencapai 44,46 MPa atau 127%. Perlu juga dicatat bahwa seluruh benda uji  $f_c' 35$  ini telah disepakati untuk diperlakukan sama seperti keadaan beton yang dituang ke dalam lubang bor, yaitu benda uji tidak direndam di dalam bak dan diletakkan di lingkungan terbuka. Pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 10** Rata-Rata Kuat Tekan Beton  $f_c'$  35 untuk Tiang Bor



**Gambar 11** Pelaksanaan Uji Kuat Tekan Beton

## HASIL PENGUJIAN DAN INTERPRETASI

Kontrol terhadap kualitas konstruksi pekerjaan pondasi untuk infrastruktur sangat diperlukan. Karena itu dibentuk suatu sistem pengujian komprehensif, yang dapat mewakili kondisi aktual tiang.

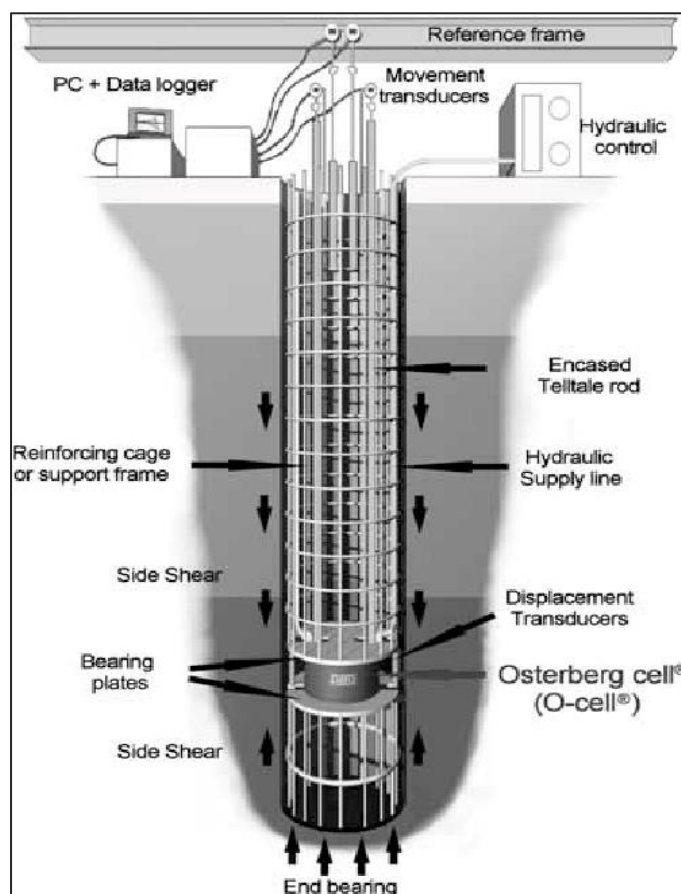
Pada proyek Penggantian Jembatan Sei alalak ini dilakukan beberapa pengujian, seperti yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Beberapa prosedur pengujian yang dilakukan adalah mengikuti ASTM D1143 (ASTM,

2007), ASTM D3966M-07 (ASTM, 2013), dan ASTM D6760 (ASTM, 2002). Setelah dilakukan beberapa pengujian terhadap pondasi dalam tiang bor, dapat disimpulkan bahwa tiang uji mempunyai daya dukung tidak kurang dari yang direncanakan dan tidak terdapat anomali pada keutuhan tiang.

### Pengujian Pembebanan Statik Aksial Dua Arah

Pengujian pembebanan statik dua arah digunakan karena mempunyai keuntungan bila dibandingkan dengan pengujian pembebanan aksial konvensional. Beberapa keuntungan yang diperoleh adalah: (1) menggunakan Geocell ketimbang menggunakan balok uji, sehingga dapat dilakukan pembebanan dalam skala besar, (2) tidak membutuhkan area uji yang luas dan tidak memerlukan perpanjangan tiang hingga elevasi tanah, serta (3) tidak memerlukan tiang uji khusus, karena akan dilakukan *grouting* setelah pengujian.

Pergerakan pembebanan dibagi menjadi 2 arah, yaitu pergerakan bagian atas, yang dihasilkan oleh tahanan selimut, dan pergerakan bagian bawah, yang dihasilkan oleh tahanan selimut dan tahanan ujung tiang. Geocell dengan diameter 960 mm diletakkan pada kedalaman dengan nilai daya dukung tiang setengah dari daya dukung ultimit. Skema dan pelaksanaan pengujian pembebanan statik aksial dua arah ini dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



**Gambar 12** Skema Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Statik Aksial Dua Arah



**Gambar 13** Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Statik Aksial Dua Arah

Pada Proyek Penggantian Jembatan Sei Alalak, penempatan Geocell tiang-tiang uji, yaitu tiang Py. B3 dan Py. B7, adalah pada kedalaman 42 m (Elev. -30.869) dari muka tanah, sedangkan Geocell untuk tiang Py. D2 ditempatkan pada kedalaman 42 m (Elev. -31.724) dari muka tanah. Rekapitaluasi pembacaan pergerakan bagian atas dan bawah, serta penyetaraan beban penurunan disajikan pada Tabel 4.

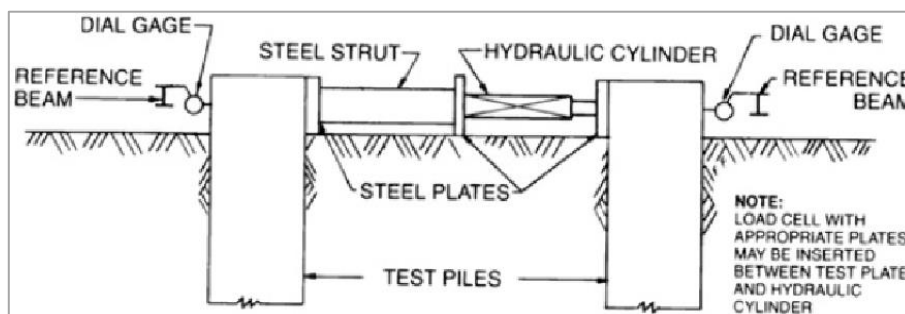
**Tabel 4** Hasil Pengujian Pembebanan Statik Aksial Dua Arah

Pile Id	Downward		Upward		Displacement at max load (mm)	Interpreted Ultimate Load (Ton)
	Displc (mm)	Max Rebound	Displc (mm)	Max Rebound		
Py. B3	36,94	5,07	37,06	5,49	40,92	1550
Py. B7	101,96	5,37	3,45	2,37	106,42	1772
Py. D2	13,19	1,82	3,26	1,80	16,53	1430

Catatan: Setelah dilakukan perhitungan didapatkan semua tiang uji mempunyai tingkat keamanan lebih besar dari 2

### Pengujian Pembebanan Lateral

Pengujian pembebanan dengan metode *pile to pile* dilaksanakan berdasarkan ASTM D3966M-07 (ASTM, 2013). Beban uji diberikan melalui sebuah dongkrak hidrolis berkapasitas 50 ton dengan *Vibrating Wire Load Cell* (VWLC) berkapasitas 50 ton, yang diletakan di posisi *Cut Off Level* (COL). Dua *gauge* ukur dengan ketelitian 0,01 mm digunakan untuk memonitor pergeseran setiap tiang di posisi COL. Skema pengujian dengan metode *pile to pile* dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15.



**Gambar 14** Skema Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Lateral



**Gambar 15** Pengujian Pembebanan Lateral

Tiang uji Py. D3 didesain untuk beban kerja (BK) sebesar 17 ton dan pembebanan dilaksanakan dalam 4 siklus, dengan beban maksimum setiap siklusnya adalah 8,5 ton (50% BK), 17 Ton (100% BK), 25.5 Ton (150% BK), dan 34 Ton (200% BK). Pergeseran total yang diukur di kepala tiang uji tersaji pada Tabel 5.

**Tabel 5** Hasil Pengujian Pembebanan Lateral

Id Tiang	Total Pergeseran (mm)			
	50% BK	100% BK	150% BK	200% NK
Py. D3	0,92	3,00	5,27	8,76

Catatan: Pergeseran residual sebesar 3,34 mm

### Pengujian Keutuhan Tiang

Uji keutuhan tiang pondasi menggunakan Crosshole Sonic Logging (CSL). Untuk memungkinkan pengambilan data, pipa akses yang berupa pipa PVC atau baja ditanam terlebih dahulu dalam beton saat pekerjaan konstruksi. Pembacaan data dilakukan dengan pembacaan rambat gelombang *ultrasonic* pada beton, yaitu antara *probe* sumber dan *probe* penerima dalam pipa yang telah diisi air, dengan *probe* ditarik dari dasar ke permukaan (lihat Gambar 16).



**Gambar 16** Pengujian Keutuhan Tiang Bor

Analisis untuk mengevaluasi keutuhan tiang bor beton meliputi: (1) pengukuran waktu rambat gelombang antara sumber dan penerima, (2) perhitungan kecepatan rambat, dan (3) pengukuran energi respon penerima. Semakin lama waktu tempuh dan semakin

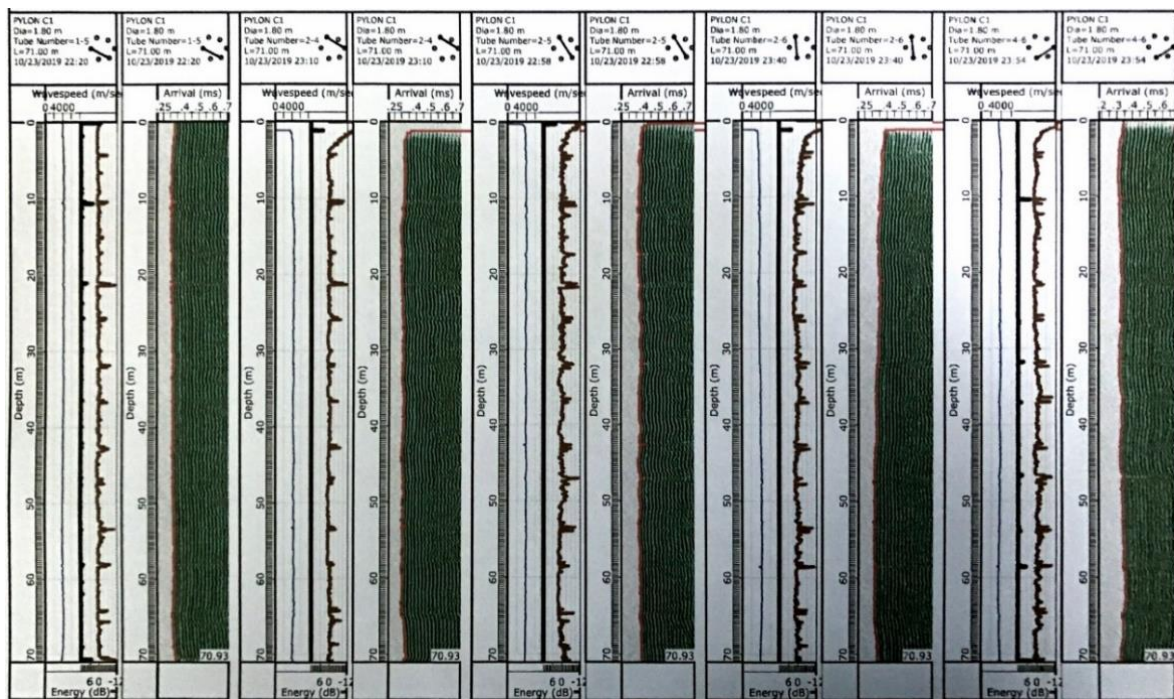
lambat kecepatan rambat gelombang mengindikasikan adanya anomali pada beton di antara pipa uji. Lebih lanjut, adanya sinyal yang hilang atau tidak terbaca menunjukkan adanya cacat di antara satu atau lebih kombinasi pipa. Rekapitulasi hasil pengujian keutuhan tiang dapat dilihat pada Tabel 6 dan pengujian keutuhan pondasi tiang bor Py. C1 dapat dilihat pada Gambar 17.

**Tabel 6** Hasil Pengujian Keutuhan Tiang

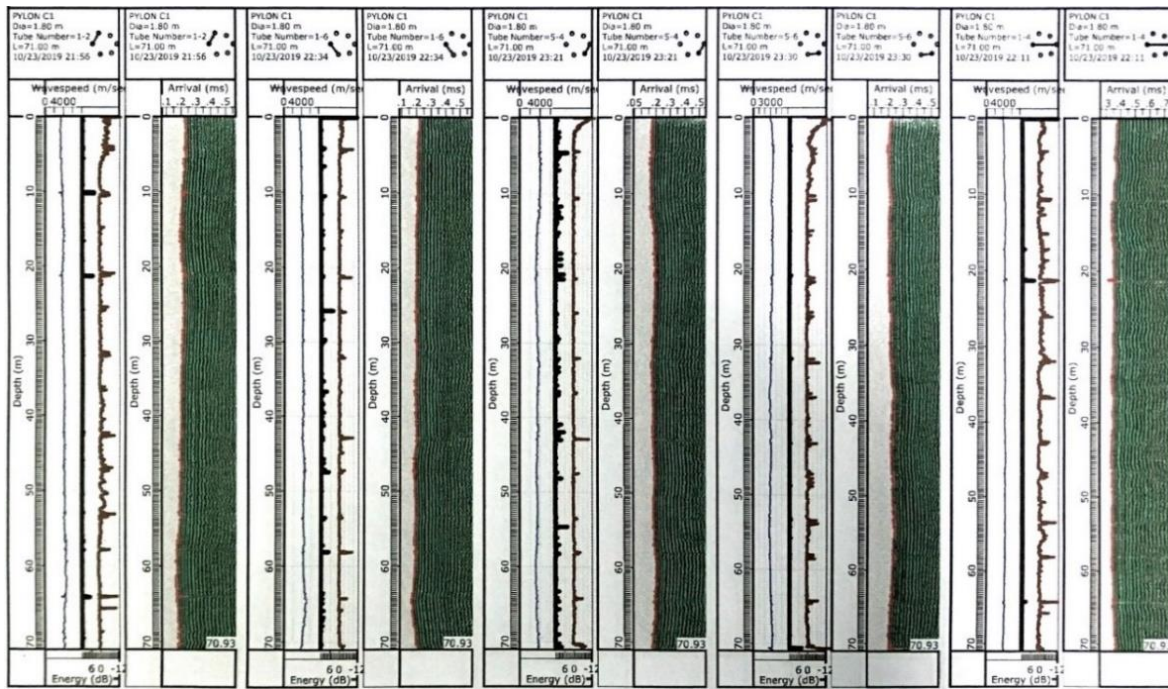
Id Tiang	Panjang Pipa Uji (m)									Kategori
	Trace (1-2)	Trace (1-4)	Trace (1-6)	Trace (2-3)	Trace (2-5)	Trace (3-4)	Trace (3-6)	Trace (5-4)	Trace (5-6)	
Py. A2	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	G
Py. A6	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	G
Py. B7	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	71,13	G
Py. C1	70,93	70,93	70,93	70,93	70,93	70,93	70,93	70,93	70,93	G
Py. C6	-	71,03	71,13	-	-	71,13	71,13	71,13	71,13	Q
Py. D2	72,94	72,94	72,94	72,94	72,94	72,94	72,94	72,94	72,94	G
CW. A4	73,94	73,94	73,94	73,94	73,94	73,94	73,94	73,94	73,94	G
ABT. B4	71,44	71,44	71,44	71,44	71,44	71,44	71,44	71,44	71,44	G

Catatan:

- Semua kedalaman terukur dari kepala pipa;
- Penjelasan kategori: G (Good), Q (Questionable), P/F (Poor/Flaw), P/D (Poor/Defect), NS (No Signal), W (Water), IR (Inconclusive Report);
- Py. C6 dikategorikan sebagai Q (Questionable) karena pipa No. 2 tersumbat, sehingga menyebabkan pengujian pada pipa tersebut tidak dapat dilaksanakan, namun tetap dapat disimpulkan bahwa tiang dalam keadaan utuh tanpa ditemukan anomali.



(a)



(b)

**Gambar 17** Hasil Pengujian Keutuhan Pondasi Tiang Bor Py. C1

## PERBANDINGAN DENGAN KONSTRUKSI TIANG BOR SEJENIS

Dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak pembangunan jembatan dengan bangunan bawah berupa pondasi dalam tiang bor beton. Konstruksi pondasi jembatan-jembatan tersebut menggunakan pipa baja, baik sebagai selubung sementara ataupun sebagai selubung permanen. Perbandingan dengan konstruksi tiang bor sejenis dapat dilihat pada Tabel 7. Terlihat bahwa walaupun dengan panjang tiang bor hingga 70 m di atas tanah lunak, pelaksanaan konstruksi pondasi tiang bor beton dengan inovasi metode kerja yang diterapkan pada penggantian Jembatan Sei Alalak terbukti dapat menjadi salah satu solusi dalam mengoptimalkan biaya pelaksanaan konstruksi tiang bor tanpa mengabaikan kualitas hasil pelaksanaan.

**Tabel 7** Perbandingan Pelaksanaan Konstruksi Tiang Bor

Bridge Name and Location	Year	Bore Pile Details						Constrctn Price/m (IDR)
		No. of Pile	Pile Length (m)	Pile dia (mm)	Construction Method	Utilization of Casing	Casing Cost (IDR)	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Sei Alalak Bridge Banjarmasin, South Kalimantan	2018–2021	52	70	1800	Rotary drilling support with polymer modified bentonite	Ø1800 mm steel pipe as a temporary casing at 15 m depth	-	14.951.089



**Tabel 7** Perbandingan Pelaksanaan Konstruksi Tiang Bor (Lanjutan)

Bridge Name and Location	Year	Bore Pile Details						Casing Cost (IDR)	Constructn Price/m (IDR)
		No. of Pile	Pile Length (m)	Pile dia (mm)	Construction Method	Utilization of Casing			
1	2	3	4	5	6	7	8		
Balang Bridge Balikpapan, East Kalimantan	2016–2021	144	30-40	2000	Reverse Circulation Drill Method support with bentonite	Ø2100 mm steel pipe as a permanent casing at variant depth	12.201.750	17.105.605	
Kendari Bay Bridge Kendari, Southeast Sulawesi	2015–2020	96	40	2000	Reverse Circulation Drill Method	Ø2100 mm steel pipe as a permanent casing at 32-39 depth	10.532.620	13.948.901	
Tayan Bridge Sanggau, West Kalimantan	2011–2015	N/A	37	1500	Reverse Circulation Drill Method support with bentonite	Ø1700 mm steel pipe as a permanent casing at variant depth	10.000.000	13.500.000	

Catatan:

- Kolom 2 merupakan lama pelaksanaan konstruksi keseluruhan jembatan;
- Kolom 7 merupakan biaya pengadaan dan pemasangan selubung tiang bor permanen ataupun sementara dan Kolom 8 merupakan harga kontrak untuk pekerjaan konstruksi tiang bor;
- Tiang bor yang ditinjau merupakan tiang bor untuk pondasi pada bentang utama.

## KESIMPULAN

Dari beberapa hal yang telah dibahas, dapat disimpulkan bahwa pelaksanaan konstruksi tiang bor beton pada tanah lunak dapat dioptimalkan dengan polymer modified bentonite dan *casing* sementara. Untuk itu, landasan kerja untuk pekerjaan tiang bor harus direncanakan agar stabil dan rata tanpa pergerakan, terutama bila landasan kerja merupakan hasil reklamasi sungai. Dari pengamatan di lapangan diperoleh bahwa lubang tiang bor dapat terbuka hingga 24 jam dengan bantuan polymer modified bentonite tanpa ditemukannya efek negatif pada tiang bor. Selain itu, selubung tiang bor sementara yang diperpanjang hingga 15 m dengan seluruh pendukung lainnya, terbukti menjadi solusi untuk mengoptimisasi biaya konstruksi tiang bor. Dari sisi biaya, pelaksanaan konstruksi tiang bor pada penggantian Jembatan Sei Alalak merupakan cara yang paling optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2007. *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load, ASTM D1143*. Reapproved 2013. West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2013. *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load, ASTM D3966M-07*. West Conshohocken, PA.

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2002. *Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations, ASTM D6760*. West Conshohocken, PA.
- Bauer Maschinen GmbH. 2015. *BE Desander Systems, DE-EN 905.503.1*. Schrobenuhausen.
- British Standards Institution (BSI). 2015. *BS 8004:1986 Code of Practice for Foundations Foundations, BS 8004:2015*. London.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Lam, C., Jefferis, S., Suckling, T.P., dan Troughton, V.M. 2015. *Effects of Polymer and Bentonite Support Fluids on the Performance of Bored Piles*. *Soils and Foundations*, 55 (6): 1487–1500.
- Ma'ruf, M.A., Rusliansyah, Fitriati, U., dan Rachman, A.A. 2019. *Digital Mapping of Hard Soil Depth in Banjarmasin City*. *International Journal of Engineering and Technology*, 11 (5): 316–320.